



Ricardo Alexandre da Silva Cordeiro

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

Análise da ocorrência de afluições indevidas a sistemas de drenagem de águas residuais

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente –
Perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Professor Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientadora: Engenheira Lisete Epifânio, Águas de Lisboa e Vale do Tejo,
Grupo Águas de Portugal

Júri

Presidente: Prof. Doutor António Pedro Macedo Coimbra Mano

Vogal: Prof.^a Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Vogal: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Outubro 2015

Análise da ocorrência de aflúências indevidas a sistemas de drenagem de águas residuais

© Copyright em nome de Ricardo Alexandre da Silva Cordeiro da FCT/UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

“Let the future tell the truth and evaluate each one according to his work and accomplishments. The present is theirs; the future, for which I have really worked, it’s mine.”

Nikola Tesla

Agradecimentos

À realização deste trabalho estão adjacentes contributos sem os quais o mesmo não poderia ter sido realizado, razão pela qual não poderia deixar de expressar os meus sinceros agradecimentos.

Inicialmente gostaria de deixar um agradecimento especial ao Professor Doutor Pedro Santos Coelho, não só pela orientação desta dissertação, mas também pela amizade, paciência, disponibilidade e constante motivação que me foi transmitindo, não apenas no decorrer do presente trabalho, mas também durante o meu restante percurso académico.

À SIMARSUL, actualmente integrada na empresa Águas de Lisboa e Vale do Tejo, na pessoa da Engenheira Lisete Epifâneo, pela disponibilidade e simpatia demonstradas para resolver qualquer questão pertinente durante a realização do presente trabalho e por se ter disponibilizado a co-orientar o mesmo.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, que foi a minha segunda casa durante todos estes anos.

A todo o corpo docente que participou activamente na minha formação académica.

Aos meus colegas, aos que se tornaram amigos e aos meus amigos de (e para) sempre, por tornarem a minha vida mais alegre.

Um obrigado muito especial à Sofia, por se ter tornado a minha âncora, pela compreensão, ajuda, motivação, paciência e carinho sempre demonstrados ao longo deste processo.

Por fim, um agradecimento especial aos quatro heróis da minha vida: aos meus pais, à minha avó Carmo e à minha irmã Mariana. Por todo o apoio, compreensão e encorajamento incondicionais. A todos um sincero obrigado por, de uma forma ou de outra, terem sido parte activa da minha formação, por me deixarem desenvolver as minhas capacidades e iluminarem, sempre, o meu caminho.

Resumo

As entidades responsáveis pela gestão e monitorização de sistemas de saneamento são confrontadas com graves problemas de cariz estrutural, económico e ambiental, associados à ocorrência de infiltrações nos sistemas de drenagem.

A afluência de caudais excedentários aos sistemas de drenagem exige a aplicação de soluções de modo a evitar o incremento de custos que esta problemática frequentemente acarreta. Se tais esforços não forem executados, o dimensionamento das ETAR poderá ser insuficiente para o caudal excedentário que aflui à rede de colectores, constituindo sobrecarga sobre os órgãos presentes no sistema e colocando em causa a qualidade e efectividade do tratamento realizado. A ocorrência de volumes de infiltração poderá determinar descargas sem tratamento prévio, os quais estão efectivamente previstos na legislação em vigor, devendo estes serem executados quando o seu impacte a nível ambiental no meio receptor é reduzido, nomeadamente pelo grau de diluição que apresentam.

A presente dissertação tem como ponto de partida a análise quantitativa deste fenómeno, recorrendo a um caso de estudo: o sistema de drenagem de águas residuais que drena para a ETAR de Sesimbra.

A falta de dados de qualidade, nomeadamente dados de precipitação representativos da área em estudo, não permitiu um desenvolvimento suficientemente exaustivo deste tema, em grande parte, devido à inexistência de uma série de dados com registos contínuos que permitissem relacionar a precipitação, o volume consumido e o volume afluente à ETAR.

Ainda assim, o presente trabalho apresenta, tendo em atenção os pressupostos assumidos, uma relação entre a ocorrência de precipitação e o incremento do caudal afluente ao sistema de drenagem. A concretização desta relação traduz-se, em valor médio, em 18% de volume pluvial/infiltrações presente no volume total afluente à rede de drenagem, o qual se estima ser superior ao efectivamente registado, dado que o sector terciário, turismo, tem uma forte influência no volume de águas residuais produzidas na bacia de drenagem estudada, com variações significativas ao longo do ano, associados a diversos momentos de elevada variação da população flutuante, podendo, neste caso, não ser tão adequado uma única divisão entre tempo seco e tempo húmido, dado que não há uma estabilidade da população servida.

Não se tornando possível efectuar uma análise suficientemente concreta sobre a quantificação de infiltrações na rede de drenagem em estudo, é apresentada uma metodologia que procura servir de matriz para o desenvolvimento de estudos futuros, cujo objectivo é relacionar a variação de volumes escoados no sistema de drenagem e o rendimento de uma estação de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: rede de drenagem, infiltração, precipitação, mitigação de afluências indevidas.

Abstract

The responsible entities for managing, controlling and monitoring the urban drainage systems have been facing serious structural, economical and environmental troubles, associated with the affluence of undue inflows.

This affluence of inflow surplus to wastewater drainage systems require the adaptation of solid and precise measures, in order to avoid the augment of money waste, in the sense that the overload of wastewater arriving to the treatment station not only increases the amount of sewage to be treated, but also can cause serious structural problems. On the other hand, the overloading of the system's organs means that the excess volume will be discharged in the receiving environment with no previous treatment, leading to ecological problems. This puts all the system's efficiency to test, so it urges some effort by the responsible entities to ensure these types of hazardous situations are minimized, according to legal aspects and to a level of dilution that can be supported by the receiving environment.

The current essay has the objective to quantify this phenomenon, analyzing the wastewater drainage system of Sesimbra as a case-study.

By utilizing the previous experiences leaded by the responsible entities, it was beforehand observed that with the occurrence of high intensity and short duration periods of rain, the increase of wastewater flow could be responsible for the need to discharge sewage with no previous treatment. However, the lack of solid information didn't allow this work to be exhaustive in this matter, mostly because it was not possible to establish a data series that could list the occurrence of rainfall, billed volume and affluent volume arriving to the wastewater plant.

The current thesis presents, with its due assumptions, a relation between the occurrence of rainfall and the increment of total affluence to the case-study wastewater drainage system. The materialization of this relation translates, in an average value, of 18% of rainfall inflow inherent to the total wastewater flowing to the drainage network, which can be an overly estimated value considering the demographic variations through the different times of the year.

As it was not possible to significantly quantify the influence of infiltration from a related economical sustainability point of view, this essay displays a method that can be used as a matrix to developing future studies which try to relate the variation of drained flow rates and efficiency of wastewater plants.

KEYWORDS: wastewater drainage system, infiltration, rainfall, mitigation of undue inflows.

Índice Geral

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Apresentação e enquadramento do tema	1
1.2	Âmbito e objectivos	2
1.3	Organização da dissertação.....	3
2	EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS	5
2.1	Considerações iniciais	5
2.2	Perspectiva histórica sobre a evolução dos sistemas de drenagem urbana.....	5
2.2.1	Sistemas de drenagem urbana em civilizações milenares	5
2.2.2	O império romano	6
2.2.3	O período pós-romano e a idade média.....	7
2.2.4	A revolução industrial e o mundo moderno	7
2.3	O saneamento em Portugal	8
2.3.1	Considerações iniciais	8
2.3.2	A questão sanitária	9
2.3.3	O Estado Novo	10
2.3.4	Terceira república e integração europeia.....	11
2.4	Enquadramento actual do sistema	13
2.4.1	Caracterização de sistemas de drenagem	13
2.4.2	Gestão de sistemas de drenagem	16
2.4.3	Enquadramento estratégico de investimento: PEAASAR	21
2.4.4	Enquadramento institucional.....	22
2.4.5	Enquadramento legal – legislação relevante	23
2.5	Componentes das águas residuais	23
3	AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS	24
3.1	Considerações iniciais	24
3.2	Afluências indevidas	25
3.3	Tipologias de afluências indevidas.....	26
3.3.1	Infiltração directa	27
3.3.2	Infiltração indirecta.....	29
3.4	Impacto das infiltrações no desempenho funcional dos sistemas de drenagem... 30	
3.4.1	Impacto ambiental e saúde pública.....	30
3.4.2	Impacto estrutural	31
3.4.3	Impacto sócio-económico	31

3.5	Quantificação dos volumes de afluências indevidas	32
3.5.1	Cálculo do caudal de infiltração em fase de projecto	32
3.5.2	Cálculo do caudal de infiltração em fase de exploração	35
3.6	Deteção de fontes de infiltração	36
3.6.1	<i>The Great Dublin Strategic Drainage Study</i>	36
3.6.2	Caudal em tempo seco	39
3.6.3	Caudal mínimo	40
3.7	Análise de locais e elementos vulneráveis	42
3.7.1	Topografia	42
3.7.2	Estado de conservação da rede de drenagem	43
3.7.3	Cruzamento de redes de drenagem de águas residuais com águas pluviais	43
3.7.4	Elementos vulneráveis da rede de drenagem	43
3.8	Métodos de quantificação de infiltração em fase de exploração	44
3.8.1	Infiltração directa	44
3.8.2	Infiltração total – Método da separação hidrográfica e método do triângulo	47
3.9	Projecto APUSS	48
3.9.1	Método dos isótopos naturais	50
3.9.2	Método das séries temporais poluentes	51
3.10 Modelos de simulação	53
3.11 Indicadores de desempenho	53
3.11.1	Definição de indicadores de desempenho	53
3.11.2	Indicadores de desempenho: algumas propostas sugeridas pelo LNEC	54
3.12 Custos associados à ocorrência de infiltrações	58
3.12.1	Custos de investimento	59
3.12.2	Custos de operação e manutenção	60
4	CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	61
4.1	Introdução	61
4.2	Sesimbra	61
4.2.1	Geomorfologia	63
4.2.2	Ocupação do solo	66
4.2.3	Indústria	67
4.2.4	Sub-sistema de abastecimento de água	68

4.2.5	Sub-sistema de drenagem de águas residuais ³	68
4.2.6	Precipitação.....	69
4.3	Subsistema de saneamento de águas residuais de Sesimbra	70
5	IDENTIFICAÇÃO E MINIMIZAÇÃO DE FONTES DE INFILTRAÇÃO	75
5.1	Introdução à situação de referência	75
5.2	Quantificação e caracterização de aflúncias indevidas	76
5.2.1	Análise da precipitação local	76
5.2.2	Análise de volumes afluentes à estação de tratamento de águas residuais	89
5.2.3	Comparação entre volumes totais afluentes à ETAR e valores de precipitação diária.....	95
5.3	Análise da influência da precipitação no sistema de drenagem	104
5.4	Comparação entre volumes de facturação: estabelecimento de um cenário de tratamento separativo	109
6	PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO	115
6.1	Orientação para a minimização de infiltrações.....	115
6.2	Análise de cartas topográficas	118
6.2.1	Identificação de pontos baixos.....	118
6.2.2	Identificação de locais com proximidade a níveis freáticos	120
6.2.3	Identificação de locais com maior vegetação.....	120
6.2.4	Identificação de locais planos	121
6.3	Análise do estado actual da rede de drenagem	122
6.4	Identificação de estradas com maior tráfego.....	122
6.5	Identificação de elementos vulneráveis da rede.....	123
6.5.1	Caixas de visita	123
6.5.2	Juntas de ligação.....	124
6.5.3	Descarregadores	125
6.5.4	Ramais domiciliários.....	125
6.6	Identificação de locais próximos de obras.....	126
6.7	Modelação hidráulica	127
6.8	Soluções específicas para a bacia de Sesimbra	127
7	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS ...	129
7.1	Conclusões	129
7.2	Programa de acção: Estabelecimento de prioridades de intervenção	130
7.3	Recomendações	130
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Distribuição geográfica das entidades gestoras de serviços de saneamento de águas residuais em “alta”	18
Figura 2.2 – Indicadores gerais do funcionamento de sistemas de drenagem de águas residuais em “alta”, por submodelo de gestão	19
Figura 2.3 – Distribuição geográfica das entidades gestoras de serviços de saneamento de águas residuais em “baixa”	19
Figura 2.4 – Indicadores gerais do funcionamento de sistemas de drenagem de águas residuais em “alta”, por submodelo de gestão	20
Figura 2.5 – Evolução de cobertura de serviço de saneamento de águas residuais urbanas em Portugal (2002-2012)	22
Figura 3.1 – Identificação gráfica das afluências indevidas.....	35
Figura 3.2 – Exemplo de aplicação do método do triângulo para a separação das parcelas de água residual, infiltração e escoamento superficial na ETAR de Mirandela.....	48
Figura 3.3 – Caracterização isotópica e decomposição do hidrograma diário nas suas componentes básicas.....	51
Figura 3.4 – Separação dos hidrogramas obtidos em duas bacias de drenagem na Suíça	52
Figura 3.5 – Optimização de custos segundo <i>The Great Dublin Strategic Drainage Study</i>	59
Figura 4.1 – Contextualização geográfica do concelho de Sesimbra.....	62
Figura 4.2 – Enseada de Sesimbra.....	65
Figura 4.3 – Corte geológico da “depressão de Sesimbra”	66
Figura 4.4 – Representação de usos e ocupação do solo em Sesimbra no ano de 2007	67
Figura 4.5 – Distribuição dos sectores de actividade em Sesimbra para o ano de 2011	68
Figura 5.1 – Localização dos postos da rede meteorológica na região de Sesimbra	76
Figura 5.2 – Localização geográfica virtual do posto de Sesimbra	77
Figura 5.3 – Ajustamento da função de distribuição Normal à série de dados de precipitação total anual do posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)	78
Figura 5.4 – Comparação entre valores de precipitação mensal entre os postos de Sesimbra (GFS 27 km) e Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG).....	81
Figura 5.5 – Comparação de valores de precipitação mensal durante o período entre 2009 e 2014.....	87
Figura 5.6 – Medidor de caudal utilizado na ETAR de Sesimbra	89

Figura 5.7 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e os volumes afluentes à ETAR de Sesimbra	97
Figura 5.8 - Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e os volumes afluentes à EE da Fortaleza	98
Figura 5.9 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e volumes de afluência à ETAR de Sesimbra, após segregação de dias sem ocorrência de precipitação ...	100
Figura 5.10 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e volumes de afluência à EE da Fortaleza, após segregação de dias sem ocorrência de precipitação	101
Figura 5.11 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e os volumes de afluência à ETAR de Sesimbra, após segregação de dias sem ocorrência de precipitação, no ano de 2010.....	103
Figura 5.12 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e os volumes de afluência à ETAR de Sesimbra, após segregação de dias sem ocorrência de precipitação, no ano de 2010.....	103
Figura 5.13 – Representação gráfica do volume pluvial afluente ao sistema de drenagem de Sesimbra, no ano de 2010	108
Figura 5.14 – Análise entre volume total facturado e volume doméstico	111
Figura 6.1 – Metodologia proposta para minimizar a influência de infiltrações no desempenho de um sistema de drenagem.....	117
Figura 6.2 – Representação da disposição da rede de drenagem no território.....	119
Figura 6.3 – Direcção do escoamento num local plano.....	121
Figura 6.4 – Direcção do escoamento num local com declive.....	122
Figura 6.5 – Esquema de geometria de uma caixa de visita rectangular	124
Figura 6.6 – Representação de um ramal domiciliário	125

Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Vantagens e desvantagens na utilização de diferentes tipos de sistemas	15
Quadro 2.2 – Principais componentes dos sistemas de drenagem urbanos	16
Quadro 2.3 – Panorama das entidades responsáveis pelo saneamento de águas residuais....	17
Quadro 3.1 – Definição de distintos tipos de afluência indevida	27
Quadro 3.2 – Critérios da quantificação em projecto da contribuição da infiltração.....	34
Quadro 4.1 – Resumo de indicadores demográficos do concelho de Sesimbra	62
Quadro 4.2 – Evolução demográfica do concelho de Sesimbra entre os anos de 1960 e 2011	62
Quadro 4.3 – Caracterização orográfica do concelho de Sesimbra	64
Quadro 5.1 – Resumo da aplicação de testes de rejeição ao ajustamento realizado à serie de dados de precipitação total anual do posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)	79
Quadro 5.2 –Valores de precipitação para anos característicos relativamente ao posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)	79
Quadro 5.3 – Valores de precipitação para anos característicos relativamente ao posto meteorológico de Sesimbra (GFS 27 km).....	79
Quadro 5.4 – Análise da precipitação em 2009	83
Quadro 5.5 – Análise da precipitação em 2010	83
Quadro 5.6 – Análise da precipitação em 2011	84
Quadro 5.7 – Análise da precipitação em 2012	85
Quadro 5.8 – Análise da precipitação em 2013	85
Quadro 5.9 – Análise da precipitação em 2014	86
Quadro 5.10 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e bombeados pela estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2009	90
Quadro 5.11 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2010	91
Quadro 5.12 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2011	92
Quadro 5.13 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2012	93

Quadro 5.14 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2013	94
Quadro 5.15 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2014	95
Quadro 5.16 - Resumo da correlação entre a série de dados de volumes de precipitação diária e a ETAR de Sesimbra e entre a série de dados de precipitação diária e a estação elevatória da Fortaleza.....	99
Quadro 5.17 – Resumo da correlação entre a série de dados de volumes de precipitação diária e a ETAR de Sesimbra e entre a série de dados de precipitação diária e a estação elevatória da Fortaleza, considerando apenas dias com ocorrência de precipitação	102
Quadro 5.18 – Resumo da correlação entre a série de dados de volumes de precipitação diária e a ETAR de Sesimbra e entre a série de dados de precipitação diária e a estação elevatória da Fortaleza considerando apenas com ocorrência de precipitação, para o ano de 2010	104
Quadro 5.19 – Volumes pluviais e totais afluentes à ETAR de Sesimbra	106
Quadro 5.20 – Razão entre volumes pluviais e volumes totais, mensais, afluentes ao sistema de drenagem	109
Quadro 5.21 – Diferença de custos entre tratamento unitário (doméstico e pluvial) e tratamento separativo (apenas efluente doméstico)	110
Quadro 5.22 – Diferença de facturação entre volumes totais reais e volumes domésticos reais	112
Quadro 5.23 – Diferença de preço entre saneamento do volume total e volume doméstico anual por habitante.....	112
Quadro 5.24 – Custo anual do tratamento de águas pluviais afluentes ao sistema de drenagem	114

Lista de Abreviaturas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente
API – *Antecedent Precipitation Index*
APUSS – *Assessment Infiltration and Exfiltration on the Performance of Sewer Systems*
CCTV – *Close Circuit Television*
CEN – Comité Europeu de Normalização
CIRIA – *Construction Industry Research and Information Association*
DL – Decreto-Lei
DR – Decreto Regulamentar
DWI – *DryWeather Inflow*
EE – Estação Elevatória
EPA – *Environmental Protection Agency*
ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETA – Estação de Tratamento de Água
ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais
GWI – *GroundWater Infiltration*
INAG – Instituto da Água
INE – Instituto Nacional de Estatística
ISAAR – Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais
IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos
IWMi – *International Water Management Institute*
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NAPI – *Normalized Antecedent Precipitation Index*
NCEP – *National Centers for Environmental Prediction*
NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*
NPV – *Net Present Value*
NUTS – Unidades Territoriais Estatísticas de Portugal
NWS – *National Weather Service*
^xO – Isótopo de Oxigénio de massa x
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PEASSAR – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional
RASARP – Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal
RGSPDADAR – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais
RII – *Rainfall Induced Infiltration*
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SMOW – *Standard Mean Oceanic Water*

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SWI – *Storm Water Inflow*

SWMM – *Storm Water Management Model*

ZMC – Zonas de medição e controlo

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação e enquadramento do tema

Por índole cultural, a problemática das infiltrações ou afluências indevidas às redes de drenagem tem vindo a ser menos atendida. As entidades responsáveis pela gestão destes sistemas focam-se, sobretudo, na ampliação das redes e, consequentemente, no incremento de cobertura dos serviços prestados. Apesar deste factor, o amadurecimento das infraestruturas, aliado à sua inata e inevitável degradação, têm conduzido a um aumento significativo de volumes de infiltração, sendo a sua influência negativa para o rendimento apropriado do sistema em causa.

Uma rede de drenagem define-se como sendo a estrutura natural ou artificial responsável pela recolha e transporte das águas pluviais ou residuais produzidas nas habitações, estabelecimentos comerciais e industriais. A rede de drenagem tem como objectivo o encaminhamento desses caudais para instalações de tratamento de águas residuais, visando a sua devolução com características qualitativas não prejudiciais para o meio receptor.

Quando artificiais, as redes de drenagem obedecem a rigorosos critérios de dimensionamento, sendo este realizado de acordo com o regulamento geral dos sistemas público e predial de distribuição de água e de drenagem de águas residuais (DR nº23/95 de 1995). Satisfazendo as normas do regulamento, a rede de drenagem é dimensionada para horizontes de projecto alargados sendo, no entanto, inevitável a perda de rendimento ao longo do ciclo de vida da estrutura. Neste regulamento, apesar de serem omissas características locais possíveis de influir a presença de factores que afectem negativamente o rendimento da rede de drenagem, o seu valor surge padronizado no caudal de projecto pela forma de infiltrações (DR nº 23/95, de 1995).

De modo a efectuar uma avaliação concisa sobre o desempenho de sistemas de drenagem urbana, devem ser levados em conta diferentes parâmetros, tais como: parâmetros hidráulicos, sanitários, ambientais, estruturais e sócio-económicos. Do ponto de vista hidráulico, os parâmetros a serem avaliados devem incluir a entrada em carga de colectores, cheias ou inundações, velocidades excessivas, assoreamento, redução da capacidade de escoamento e ocorrência de infiltrações, factores que influenciam a capacidade de transporte da estrutura em causa. Quanto à vertente sanitária, é importante analisar a eventual contaminação microbiológica (devido à existência de descargas sem tratamento apropriado e exfiltração no sistema de colectores) e a ocorrência em concentrações excessivas de gases, nomeadamente gás sulfídrico, responsável pela emissão de odores desagradáveis ao olfacto humano e, em determinadas concentrações, tóxico. No que toca ao domínio ambiental, a principal questão a avaliar prende-se com a ocorrência de descargas sem tratamento adequado para o meio receptor e eventuais exfiltrações ou perdas na rede de drenagem. Quanto ao parâmetro

estrutural, devem ser consideradas características como o assentamento apropriado de colectores ou a ocorrência de fendilhações, falhas, deformações e colapsos. Por fim, no que diz respeito à perspectiva sócio-económica, deve ter-se em conta parâmetros como a ocorrência de odores, interrupções no tráfego e custos unitários de exploração (Cardoso *et al.* 2002).

As infiltrações são o principal impedimento da desejável eficiência e eficácia dos sistemas de saneamento. Os parâmetros necessários para uma avaliação correcta do seu desempenho estão interligados, conferindo uma importância ainda maior ao cumprimento das condições indicadas no parágrafo anterior. Qualquer alteração a nível estrutural que afecte o rendimento da conduta em causa pode ter consequências a nível sanitário e ambiental, já que ocorre a possibilidade de descarga para o meio receptor sem tratamento apropriado. Estas alterações no correcto funcionamento do sistema trazem consequências financeiras, já que o facto de as afluências não serem facturadas, mas serem transportadas e tratadas, tal qual águas residuais, conduzem a um natural acréscimo dos custos operacionais.

Seguindo este raciocínio, o trabalho desempenhado a montante do dimensionamento da rede de drenagem assume elevada relevância. Torna-se, assim, imperativa a correcta definição e estimativa dos caudais médios e excedentários que afluem à rede em causa. Além das contrapartidas oferecidas a nível hidráulico e estrutural, o correcto dimensionamento da rede de drenagem permite ainda ter uma estimativa dos custos associados à manutenção e monitorização do sistema e definir estratégias operacionais, com o intuito de prolongar o ciclo de vida das estruturas associadas. Apesar da importância do bom dimensionamento da rede de drenagem, não deve ser ignorado a existência de um grau de incerteza associado ao cálculo destes volumes excedentes.

1.2 Âmbito e objectivos

No presente trabalho, o objectivo principal consiste na percepção e quantificação do impacto que as infiltrações têm sobre os sistemas de drenagem de águas residuais. A impossibilidade de garantir a completa estanquidade da rede promove, de modo natural, a afluência de caudais indevidos ao interior da mesma.

Este trabalho pretende, ainda, apresentar uma metodologia de futura aplicação, que auxilie a monitorização e gestão de sistemas de drenagem de águas residuais. Com a vertente da planificação a montante da exploração do projecto, tornar-se-á mais acessível a previsão de ocorrências que influenciem a afluência de caudais indevidos aos sistemas de saneamento.

É sobre essas afluências que este trabalho se debruça, com o intuito de, não apenas verificar a sua existência, mas também quantificar os volumes das mesmas, de modo a aferir eventuais alterações estruturais e económicas.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos.

No Capítulo 1, é apresentada a introdução ao trabalho desenvolvido, na qual se apresentam todos os temas abordados na presente dissertação, com igual descrição dos objectivos que a mesma se propõe atingir.

O Capítulo 2 expõe a evolução, numa perspectiva histórica, dos sistemas de saneamento urbano ao longo da existência da humanidade. Esta evolução termina no período actual, sendo o espectro radial da sua análise progressivamente mais reduzido, terminando especificamente no caso português. Ao longo deste capítulo são apresentadas semelhanças e disparidades de índole tecnológica mas, sobretudo, administrativa ao longo dos períodos considerados. Do mesmo modo, são ainda apresentados desafios e estratégias futuras que visam o desenvolvimento, projecto e monitorização de redes de drenagem, de acordo com as necessidades da sociedade.

As generalidades relativas às infiltrações em sistemas de drenagem de águas residuais urbanas são expostas no Capítulo 3. São apresentadas as suas principais causas e impactes, assim como estratégias de quantificação, permitindo abordar a temática das infiltrações em toda a sua extensão. Ainda que sejam referenciados apenas alguns estudos mais específicos, foram considerados de relevo para a temática abordada no presente trabalho.

No Capítulo 4 é efectuada uma breve caracterização do concelho onde se insere o caso de estudo, assim como da bacia hidrográfica em questão. São também abordadas generalidades relevantes para a realização deste trabalho.

No Capítulo 5 é analisada a ocorrência de caudais excedentários afluentes ao sub-sistema de drenagem de Sesimbra, com base em dados disponibilizados pela entidade gestora da rede e recolhidos pelo autor. É também distinguida a parcela da infiltração referente à ocorrência de precipitação, sendo, *a posteriori*, diferenciados os volumes pluviais e domésticos na rede analisada.

No Capítulo 6 apresentam-se soluções passíveis de serem implementadas no caso de estudo analisado no presente trabalho, com o objectivo de combater diferentes formas de infiltração. Neste capítulo, são utilizados pressupostos anteriormente examinados, em estudos precedentes à presente dissertação.

Finalmente, o Capítulo 7 sintetiza as principais conclusões a retirar da realização da presente dissertação, especialmente as obtidas no caso de estudo. São, ainda, referidas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

2.1 Considerações iniciais

Nos sistemas de drenagem de águas residuais, a impossibilidade de segregar por completo, os subsistemas de águas residuais e águas pluviais não consiste obstáculo para que não seja possível evidenciar um, em detrimento do outro. Sendo assim, o foco do presente trabalho é maioritariamente o estudo dos sistemas de drenagem de águas residuais, do tipo separativo.

2.2 Perspectiva histórica sobre a evolução dos sistemas de drenagem urbana

Os sistemas de drenagem urbana têm sido objecto de estudo, sob diferentes visões, ao longo de diversos períodos históricos e nas mais diversas regiões. Apesar da existência de registos que apontam que a sua origem remonta a 5 000 anos atrás, a importância atribuída a esta questão terá sido discrepante, dependendo do contexto social das diferentes eras, geografia, crenças religiosas e capital disponível (Matos, 2003).

É reconhecido que foi apenas nos últimos cento e cinquenta anos que se atingiu um importante passo em frente no desenvolvimento tecnológico, motivado pelo crescimento industrial. O crescimento, quer tecnológico, quer industrial, determinou um desenvolvimento sócio-económico, de onde surgiram maiores demandas da sociedade. Este desenvolvimento emergiu, acompanhado pela reorganização populacional junto aos locais mais industrializados, o que significou uma diminuição da qualidade ambiental nas zonas de maior pressão, com influência no equilíbrio e qualidade de recursos hídricos (Matos, 2003).

2.2.1 Sistemas de drenagem urbana em civilizações milenares

Os processos de saneamento básico remontam às mais antigas civilizações. Como seria expectável, as técnicas utilizadas na concepção de sistemas de drenagem eram aperfeiçoadas devido aos erros cometidos em tentativas anteriores. A utilização de modelos de cálculo auxiliares ao próprio dimensionamento de sistemas de saneamento básico era nula. No entanto, e apesar da utilização de métodos empíricos são, ainda hoje, observáveis diversos exemplos de apreciável sucesso de concepção e merecida discussão (Burian & Edwards, 2002).

Segundo Rahman & Alias (2007), os primeiros registos de sumidouros de águas residuais e instalações de saneamento básico foram encontrados em Nippur, na Suméria, há cerca de 5 000 anos. A elaborada rede de drenagem colectava os resíduos dos palácios, encaminhando-os para o exterior da cidade.

Webster (1962) e Kirby, *et al.* (1956), referenciam o sistema de drenagem projectado pelos Hindus, actualmente residentes na região ocidental do Paquistão, como pioneiro na utilização de colectores e drenos do aglomerado urbano.

Na Pérsia, devido à crença religiosa na qual a água oriunda da chuva era uma dádiva e a sua poluição era considerada pecado, surge igualmente um sistema de drenagem no qual prevalecia a qualidade da água pluvial (Burian & Edwards, 2002).

Os primeiros avanços tecnológicos na área do saneamento básico surgem no Império Mesopotâmico, por volta de 2500 A.C. Nesta civilização, o culto pela higiene e cuidado pessoal foi o motivo que coincidiu com a descoberta de novas soluções que permitiriam o escoamento propício de águas residuais. Na Mesopotâmia, um corpo que não estivesse limpo nunca poderia ser purificado, sendo sinónimo de uma alma igualmente corrompida (Matos, 2003).

Na civilização de Harappa, situada na Índia Ocidental (2500 A.C.), foram registadas as primeiras utilizações de água corrente em latrinas para usos sanitários. Estas estruturas constituíam uma rede construída em tijolo, no qual eram utilizadas câmaras e sumidouros (Burian & Edwards, 2002; Matos, 2003).

Os sistemas de drenagem separativa cedo foram adoptados por antigas civilizações, sendo verificada a sua primeira utilização na cidade de Krossos, Grécia, por volta do ano 2000 A.C., onde eram recolhidas, separadamente, águas pluviais e residuais (Rahman & Alias, 2007).

No Oriente, particularmente na China, a problemática do escoamento de águas residuais surge apenas em 200 D.C. Nesta região, foram descobertos vestígios de actividade sanitária datados, provavelmente, depois do século VI, dos denominados “canais de limpeza” de Angkor, a cidade dos cinco picos, edificada pelo povo Kilmer (Coelho, 2013).

2.2.2 O império romano

Os sistemas de drenagem de águas residuais viram os seus avanços tecnológicos mais significativos ocorrer durante o período dominado pelo Império Romano, apoiados no trabalho levado a cabo pela civilização etrusca (século VI A.C.), no planeamento e desenvolvimento urbano na Itália Central (Burian & Edwards, 2002).

A grande expansão do Império Romano, ocupando grande parte da Europa e, ainda, Norte de África e Médio Oriente, foi responsável pela rápida proliferação de costumes, mas também de tecnologias. As cidades romanas obedeciam a um esquema de edificação, no qual os sistemas de drenagem de águas residuais eram um ponto de interessante análise, espelhando as preocupações visionárias reconhecidas àquele povo.

A Cloaca Máxima de Roma é considerada como o expoente máximo do desenvolvimento da temática do saneamento na civilização romana. É a mais antiga rede de drenagem de águas residuais em termos mundiais, sendo que a sua concepção em muito se assemelha à prática

comum actual. Esta rede escoava o esgoto de parte significativa da cidade para o Tibre, com o intuito de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos romanos (Burian & Edwards, 2002).

2.2.3 O período pós-romano e a idade média

Após o desenvolvimento considerável do Império Romano, a sua queda é conhecida por ter assumido proporções igualmente notáveis. Com a drástica redução do poder do Império, a população foi diminuindo, fazendo com que os cuidados municipais fossem, naturalmente, decaindo, conduzindo à deterioração das estruturas que simbolizavam o Império (Matos, 2003).

A queda do Império Romano determinou que parte das práticas de saneamento desenvolvidas fossem progressivamente esquecidas. A falta de preocupações com o saneamento por parte dos povos da Idade Média fez com que fosse registada uma importante regressão neste período da História, relativamente às práticas de saneamento (Coelho, 2013).

A Idade Média foi um período dominado por pestes e doenças derivadas da falta de saneamento. Apesar de, em algumas cidades como Paris e Londres, se ter verificado um aumento demográfico, não existia planeamento urbano como na civilização Romana. A população estava organizada em povoações de pequena dimensão, sendo o saneamento uma preocupação menor. A ocupação de terrenos, o desenvolvimento agrícola e a proximidade a cursos de água fizeram com que as populações não sentissem necessidade de um sistema de drenagem de águas residuais.

A partir do século XVIII, a higiene pessoal readquire importância, mas do ponto de vista social, pois apenas classes restritas com mais posses tinham direito a esses cuidados. Esta estratificação trouxe, pela primeira vez na História, esboços de normas e portarias com o intuito de responsabilizar os proprietários da própria limpeza e gestão dos efluentes que produziam. Contudo, contrariamente ao que seria esperado, o estabelecimento de normas não teve o impacto suposto, porque os proprietários recolhiam apenas os resíduos pelos quais eram directamente responsáveis. A deposição dos resíduos era realizada sem qualquer tipo de tratamento em terrenos alheios (Burian & Edwards, 2002).

No que diz respeito a saneamento, a Idade Média foi um período de estagnação. Foram séculos nos quais não existiram inovações significativas, nem foram aperfeiçoados ou desenvolvidos os sistemas de drenagem existentes, registando-se mesmo uma regressão relativamente a épocas anteriores.

2.2.4 A revolução industrial e o mundo moderno

O motor para o desenvolvimento tecnológico moderno, não apenas para os sistemas de drenagem urbana e saneamento foi, indubitavelmente, a revolução industrial. Neste período, o principal foco foi fornecer à população crescimento sócio-económico. O considerável aumento demográfico, baseado na transição do trabalho artesanal para o trabalho mecânico, acarretou

novas necessidades de planeamento urbano, conduzindo à execução de novas redes de drenagem.

A revolução industrial marca a utilização de novos materiais, como o ferro, em detrimento dos utilizados até então, como a pedra ou tijolo. No final do século XIX, o betão ganhou força perante este tipo de materiais, sendo que os novos colectores apresentavam secções circulares, autolimpeza e eram concebidos sem a utilização de juntas transversais, o que constituiu um importante avanço em função das técnicas de concepção anteriormente utilizadas. No mesmo período, foi convencionado que condições como a garantia de autolimpeza ou declive dos colectores asseguravam melhores condições de escoamento, facilitavam a manutenção do sistema e ainda permitiam menos encargos económicos ao nível da manutenção (Matos, 2003).

Por todo o mundo foram utilizadas novas abordagens de planeamento, concepção e gestão de sistemas sanitários. Impulsionadas pelo foco inglês de desenvolvimento, as cidades de Boston, Philadelphia e Nova Iorque definiram, no início do século XVIII, redes de escoamento superficial, capazes de drenar águas pluviais. No entanto, foi em Boston que surgiu o primeiro sistema de drenagem subterrânea, que garantiu um melhor rendimento no escoamento das águas pluviais (Burian & Edwards, 2002).

Em Londres, em 1840, surgem estudos de sedimentação de areias e outros materiais em água corrente. Os resultados concluem que as velocidades mínimas de 0,6 m/s a 0,9 m/s são suficientes para proporcionar o arrastamento de partículas para jusante da tubagem (Burian & Edwards, 2002).

Já em Paris, no século XIX, foram desenvolvidos equipamentos e acessórios que auxiliavam o escoamento de águas residuais como “esferas metálicas” e dispositivos de descarga sifonada automática, criando condições cíclicas de arrastamento no interior dos colectores (Matos, 2003).

2.3 O saneamento em Portugal

2.3.1 Considerações iniciais

Ao contrário do que ocorreu em civilizações milenares, onde estão documentados registos da existência de sistemas de drenagem urbana, em Portugal esses registos históricos remontam ao século XV. Devido a uma peste que assolava a cidade de Lisboa, D. João terá ordenado a limpeza dos “canos”, cuja função principal era a recolha das águas pluviais. No entanto, estas estruturas primordiais acumulavam todo o tipo de dejectos, tornando-se um foco de perturbações sanitárias e epidemias (Brandão, 2011).

Lisboa, como capital do reino, era o foco de todo o desenvolvimento tecnológico e cultural. Contudo, foi na cidade do Porto que surgiu o primeiro sistema separativo de drenagem de águas residuais e pluviais, concebido pela empresa inglesa Hughes & Lencaster, após

concurso público promovido pela Câmara Municipal do Porto. Apesar da importância desta intervenção, apenas esta empresa apresentou uma proposta de execução à Câmara Municipal do Porto. Questões financeiras, custos de empreitada e mão-de-obra poderão explicar este facto, ocorrendo a instalação da rede dimensionada, juntamente com as devidas ligações domésticas, no período entre 1889 e 1894 (Brandão, 2011).

A utilização de redes separativas, cuja aplicação inicial se remeteu apenas ao Reino Unido, apenas se tornou prática comum na restante Europa em meados do século XX (Burian & Edwards, 2002).

2.3.2 A questão sanitária

A nível nacional, é reconhecido o facto de a revolução industrial ter um considerável atraso em relação à média europeia. Esta diferença deve-se, maioritariamente, a questões geográficas. Foi apenas no século XIX que se estabeleceu uma relação causal, quando se comparavam o crescimento demográfico e a pressão urbana com o igual aumento de problemas de índole sanitária em Portugal. As pestes e as febres eram frequentemente associadas à falta de infraestruturas que suportassem uma coerente drenagem urbana e fornecimento de água potável. No entanto, a abordagem a este tema era limitada, já que as cidades eram consideradas pelo então Director-Geral de Saúde, Dr. Ricardo Jorge, como “órgãos à parte do conjunto nacional”. Neste período, mais concretamente em 1864, as cidades de Lisboa e Porto eram responsáveis por 60% da população urbana, mas apenas 7,4% da população nacional (Pato, 2011). Em contrapartida, caracterizavam-se por serem os focos de um aumento populacional considerável, quando comparado com esse crescimento a nível nacional. Neste período, a saúde pública só poderia ser alcançada através da interacção entre educação, fiscalização, engenharia e administração. Devido à falta de registos, como cadastros de causas de mortalidade, uma cuidada análise estatística dos pressupostos apresentados não é passível de ser efectuada (ERSAR, 2013; Pato, 2011).

No final do século XIX, o Director-Geral de Saúde, Dr. Ricardo Jorge, deparou-se com duas barreiras para um estado ambientalmente mais estável: a organização político-administrativa e a crise financeira de 1891. Sem meios financeiros e com uma classe política pouco flexível, a disponibilidade para investir no sector da saúde, nomeadamente em equipamentos e estruturas sanitárias e sistemas de esgotos era praticamente nula, resultando num estado sanitário precário e enfermo. Apenas Lisboa e Porto viram melhorias nestas áreas, embora que ténues (ERSAR, 2013; Pato, 2011).

Após o perturbado período do final do século XIX, iniciou-se em Portugal um ponto de viragem que iria coincidir com o estabelecimento de dois vectores que, ainda hoje, regulam as bases de gestão dos sistemas de drenagem urbanos a nível nacional. Um desses vectores foi a responsabilização do Ministério das Obras Públicas, Comércio e Indústria em coordenar tecnicamente e planificar as obras de saneamento que daí em diante ocorressem. O outro vector foi o estabelecimento, no ano de 1899, de uma entidade fiscalizadora, orientadora e

reguladora de nome Junta Central de Melhoramentos Sanitários, cuja nomenclatura viu alterações desde a sua criação. Contudo, o investimento em políticas de abastecimento e saneamento de águas, bem como o desenvolvimento das suas necessárias infraestruturas, tiveram expressão residual num país centrado em se comprometer e, consequentemente, se infraestruturar ao nível dos transportes e comunicações. Por outro lado, a divisão administrativa do território (1836) concedeu uma considerável porção das funções públicas de abastecimento e saneamento às corporações locais. No entanto, esta distribuição de responsabilidades era ambígua, ora vaga na atribuição de iniciativas necessárias para a realização de obras e respectivos encargos financeiros, ora caracterizada por um elevado grau de discricionariedade no que dizia respeito a projectos a desenvolver, permitindo diversas interpretações (ERSAR, 2013; Pato, 2011).

Até à revolução militar levada a cabo no dia 28 de Maio de 1926, não se registaram progressos nos modelos de gestão adoptados para a problemática do saneamento e, mais concretamente, da drenagem de águas residuais. Apesar de avançado para a época, o modelo de gestão sanitária idealizado por Ricardo Jorge continuava a ser continuamente adiado, quer pela indisponibilidade orçamental, quer pela instabilidade vivida a nível nacional e internacional.

2.3.3 O Estado Novo

Com a mudança do regime e, apesar das mudanças de índole política que daí ocorreram, a responsabilidade da gestão sanitária e de projectos ou acções a realizar permaneceu, de modo quase exclusivo, do lado municipal. No entanto, foram dados os primeiros passos para uma tentativa de concretização das responsabilidades e no estabelecimento de entidades que assegurassem a gestão eficiente dos sistemas de saneamento básico (Pato, 2011).

António de Oliveira Salazar, em conjunto com o Eng^o Duarte Pacheco, estabeleceu, apoiando-se no Código Administrativo de 1936, que o Governo passaria a intervir perante três vertentes: regulamentação e regulação técnica do planeamento das obras, financiamento necessário para a sua execução e fiscalização sanitária das águas. Foram então criadas a Secção de Melhoramentos de Águas e Saneamento, pertencente ao quadro orgânico do Ministério das Obras Públicas e Comércio, e a Junta Sanitária de Águas, sob a tutela do Ministério do Interior, passando, desse modo, a direccionar a actuação do Estado perante este domínio governativo. A criação destas unidades administrativas não influenciou o modelo de gestão do saneamento básico, continuando este a ser responsabilidade exclusiva das câmaras municipais (Pato, 2011).

Através da criação destas entidades, ficava definida, de modo teórico, a matriz que iria reger a administração do saneamento básico, fazendo a destrição necessária entre câmaras municipais e o Estado. Por um lado, às autarquias foi incumbido todo o processo de gestão dos sistemas e a iniciativa de iniciar e encetar quaisquer alterações passíveis de ocorrer na rede. Já ao Estado foram atribuídas responsabilidades de cariz de supervisão técnica, administrativa e financeira. Naturalmente, esta supervisão tornava-se ilusória, já que o Estado seria a

entidade que detinha a totalidade do poder decisório, tendo o crédito de bloquear decisões camarárias, gerir orçamentos municipais e nomear governativamente os titulares dos principais cargos administrativos locais e de instituições dos regimes de inspecção. Além deste factor, o esboço desta configuração política era responsável pelo estabelecimento de uma cisão clara entre povoações urbanas e rurais, devido à preponderância do Estado e da sua soberania perante o trabalho a desenvolver pelas autarquias (ERSAR, 2013; Pato 2011).

Apesar do estabelecimento de normas e directivas para definir as responsabilidades de gestão de saneamento básico, foi apenas no final do Estado Novo (início da década de 70) que a dúbia função governamental nessa mesma gestão foi clarificada, focada na distribuição de água de abastecimento para a população, a orientação do Código Administrativo abstraiu a gestão dos sistemas de drenagem urbana e seu respectivo enquadramento legal, que só ocorreu em 1970. Neste ano, apenas 17% da população tinha acesso a rede de esgotos, pelo que é perceptível que, durante o seu regime, o Estado Novo pouco investiu na melhoria de infraestruturas ou na concretização de sistemas domiciliários de águas e esgotos (ERSAR, 2013; Pato, 2011).

2.3.4 Terceira república e integração europeia

Apesar da mudança política levada a cabo durante o Estado Novo, a política de saneamento não se alterou até ao final do regime. Em 1975, ainda não existia um plano estratégico nacional na área do saneamento básico nem havia incentivos à formação adequada de profissionais que monitorizassem e gerissem as escassas redes existentes. O baixo investimento resultou que, no fim do Estado Novo, 83% da população não tinha acesso a saneamento básico, sendo que a maioria desta população era rural. Seria, então, urgente criar ou expandir infraestruturas por, praticamente, todo o território nacional, bem como efectuar a ligação dos domicílios quer à rede de águas para abastecimento, quer à rede de águas residuais (ERSAR, 2013).

Com a revolução de 25 de Abril de 1974, Portugal sentiu mudanças imediatas mas, no que toca a saneamento, a política criada por Salazar, em conjunto com o seu governo, manteve-se até 1979, onde seria o Estado o principal financiador das autarquias, através da utilização de fundos do Orçamento do Estado. Contudo, nesse mesmo ano, foi aprovada a Lei das Finanças locais, na qual era atribuída a autonomia financeira aos municípios, sendo extinto o regime de comparticipações estatais. Em conjugação com a entrada portuguesa na Comissão Económica Europeia (CEE), concluída em 1986, estas medidas permitiram a alocação local de fundos externos, como os Fundos Comunitários ou os Fundos Estruturais, no sistema financeiro municipal, bem como o acesso a condições facilitadas de crédito junto do Banco Europeu de Investimento (ERSAR, 2013).

Com as mudanças levadas a cabo no ramo do saneamento básico, esta temática começou a ser encarada com mais seriedade, sendo englobada nas políticas públicas do ambiente em até ao início da década de 1990. No ano de 1993, com a reforma do sector ambiental, foram criados o Instituto da Água (INAG) e a empresa de capitais públicos Águas de Portugal (grupo

IPE-AdP, SGPS, SA.), responsáveis pela gestão em “alta” e em “baixa” dos sistemas. A entidade que regulava estas empresas foi criada em 1998, com o nome de Instituto Regulador de Água e Resíduos (IRAR). A partir de 2004, este instituto foi responsável pela emissão de quatro extensivos relatórios anuais, com foco nas execuções económicas e financeiras do sector (Pato, 2011).

Estas mudanças foram, no entanto, conflituosas com a agilização de processos. Os interesses económicos, a par dos impedimentos burocráticos e da falta de dados estatísticos credíveis devido a décadas de protelação sobre a matéria de saneamento básico comprometeram as favoráveis condições impostas pela União Europeia para que Portugal se desenvolvesse nesta matéria.

A falha de ocorrência de dados estatísticos é fundamental, do ponto de vista negativo, já que impede que seja estabelecido um padrão entre o investimento realizado pelo Estado e as melhorias alcançadas no serviço. Esta falha impede igualmente a correcta projecção de investimentos futuros por não existir qualquer termo de comparação com os esforços realizados no passado, bem como o incremento que o investimento feito trouxe ao rendimento do sistema em causa.

A conjugar com as falhas apresentadas, o sector do saneamento básico, em Portugal, viu ainda diversas transições de entidades responsáveis pela gestão e financiamento dos projectos efectuados. A estas transições estão inerentes processos burocráticos extensos e nova legislação a acompanhar cada mudança efectuada, contribuindo para uma obstrução do sistema, colocando em causa o próprio desenvolvimento da área em Portugal.

O verdadeiro impulso para o desenvolvimento dos sistemas de saneamento básico em Portugal, no que diz respeito à sua ampliação, surgiu na década de 1990 devido, sobretudo, à transição do sector para um regime predominantemente empresarial e da execução do plano director de saneamento básico, entre 1980 e 1990. Por outro lado, a criação do IRAR foi responsável por um planeamento mais responsável, aliado a uma gestão financeira de recursos mais eficiente, sistemática e racional.

No entanto, apesar do crescente desenvolvimento do sector na década de 1990, a distribuição de fundos deu privilégio ao desenvolvimento de outras infra-estruturas, em detrimento da melhoria do sector de abastecimento e saneamento de águas. Em 1990, Armando Lencastre abordou a problemática do saneamento básico atestando que «não é demais afirmar, embora para escândalo de alguns, que os problemas financeiros nunca são os principais e que, quando os meios financeiros faltam, sobretudo num sector de base como é o saneamento básico, é porque já falharam anteriormente muitos outros condicionamentos, falhas resultantes de

incapacidades institucionais, que se alimentam de incapacidades humanas e políticas, e reciprocamente, um autêntico círculo vicioso»¹ (Pato, 2011).

Numa fase mais recente, a questão das tarifas praticadas face ao consumo tem ganho primazia, agindo como parte da equação na problemática da gestão financeira de serviços de águas e águas residuais, como constata a Recomendação 1/2009 do IRAR. Para fazer face à manutenção económica financeira do sector público hídrico foi introduzido, em 1994, o conceito de utilizador-pagador no qual o utente acarreta responsabilidade por parte do custo associado quer à água para consumo, quer para água residual. A Directiva-Quadro da Água apoia-se nesta condicionante, onde é tido como pressuposto essencial a recuperação de custos impostos pelas políticas de água, numa escala europeia (Pato, 2011).

Com a criação da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas Residuais (ERSAR) em 2009, o IRAR é extinto e substituído por esta entidade, responsável por competências mais abrangentes que o antigo instituto. A falta de regularização e globalização na monitorização dos sistemas é um factor a corrigir, cuja resolução é esperada através do alargamento do espectro de acção da ERSAR face ao IRAR (Pato, 2011).

Actualmente, para além da questão tarifária que ainda hoje prevalece, os focos principais de gestão danosa incidem sobre os binómios entre o poder central e o poder local e sector público e privado. Como se constata ao longo da evolução do sector do saneamento básico em Portugal, a gestão levada a cabo por múltiplas entidades retirou rendimento ao processo decisório e de manutenção do sector. No período de 2007 a 2013, o Plano Estratégico de Água e Saneamento de Águas Residuais II (PEAASAR II) impõe objectivos estritos, nomeadamente no ciclo urbano da água, na gestão integrada dos serviços de águas e a própria articulação entre a classe política e o desenvolvimento científico e tecnológico.

2.4 Enquadramento actual do sistema

2.4.1 Caracterização de sistemas de drenagem

A drenagem e tratamento de águas residuais consistem na recolha, escoamento e tratamento destas águas de origem urbana, compreendendo ainda a sua descarga no meio receptor final. O saneamento de águas residuais de origem urbana é fundamental para salvaguardar a qualidade das massas de água, muitas vezes consideradas para outros usos (Rodrigues, 2013).

Segundo Galvão (2009), o investimento residual nas melhorias do serviço de saneamento básico advém do elevado período de retorno financeiro que está associado ao sector, caracterizado por infraestruturas com elevados ciclos de vida útil. Para reduzir os períodos

¹ Lencastre, A. (1990). «A problemática do saneamento básico e do destino final dos efluentes industriais» *in* Actas do Ciclo de Conferências sobre «A problemática da Poluição Hídrica em Portugal». Lisboa: Sociedade de Geografia de Lisboa, p. 9.

associados ao retorno, seria necessário um aumento considerável nas receitas anuais, medida que acarreta impactes significativos no valor das tarifas aplicadas ao consumidor final.

Para definir um sistema de drenagem existem diferentes classificações que podem ser atribuídas, consoante a natureza da água a transportar. Desse modo, os sistemas de drenagem podem escoar água pluvial, residual doméstica ou industrial e mista. Para classificar o sistema quanto à natureza do seu escoamento, o primeiro ponto do artigo 116.º do Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de Agosto de 1995 define as redes de drenagem públicas como sendo separativas, unitárias, mistas ou pseudo-separativas (ou separativas parciais) (Rodrigues, 2013).

Um sistema de drenagem é classificado como separativo se existirem dois sistemas paralelos nos quais circulam, diferenciadamente, água pluvial e água residual. Neste tipo de sistema podem ocorrer três tipos de escoamento:

- superfície livre, o tipo mais usual de escoamento;
- em pressão, utilizado quando é economicamente viável ou quando existe impossibilidade de utilizar o escoamento por gravidade, ocorrendo bombagem do caudal a escoar.
- sob vácuo, sendo este o sistema menos frequente. O transporte bifásico (ar e água) ocorre pela criação de condições de subpressão nas condutas.

Quando o fluxo drenado não é diferenciado, isto é, circulam, na mesma conduta, água pluvial e água residual, o sistema de drenagem em causa é designado por unitário. Este tipo de sistema utiliza, na maioria dos casos, escoamento com superfície livre.

Os sistemas mais comuns são, no entanto, os sistemas de drenagem mistos, nos quais existem troços que funcionam como sistema unitário e outros nos quais o sistema é separativo.

As redes de drenagem pseudo-separativas ou separativas parciais caracterizam-se pela junção, ainda que ocasional, de água pluvial com o colector de águas residuais domésticas. É admitida, excepcionalmente, a ligação da afluência de águas pluviais aos colectores domésticos, devido a essas águas não apresentarem condições de afluência gravítica aos respectivos colectores pluviais públicos.

Ao longo do historial do saneamento básico em Portugal, verifica-se que as redes mais antigas eram maioritariamente unitárias. Contudo, com o desenvolvimento de novas tecnologias e construção de novos sistemas, as redes construídas nos últimos 30 anos são, salvo raras excepções, separativas. No entanto, é algo ilusório admitir redes de drenagem de natureza separativa, devido ao facto de ser impossível monitorizar e mitigar todas as falhas de funcionamento ou erros de concepção da rede em questão. Por uma questão de conveniência e, conferindo um coeficiente de segurança aquando o cálculo de afluências, as redes são consideradas pseudo-separativas.

A caracterização de sistemas de drenagem pode ser ainda efectuada relativamente às condições do escoamento, segundo as quais o sistema pode ser convencional, não convencional e unitário. Apesar da rara utilização em grande escala dos sistemas não convencionais e das redes unitárias estarem em desuso, é importante definir este tipo de classificação. O Quadro 2.1 evidencia essa mesma definição.

Quadro 2.1 - Vantagens e desvantagens na utilização de diferentes tipos de sistemas (adaptado de Rodrigues, 2013)

Tipo de Sistema	Vantagens	Desvantagens
Sistemas convencionais, separativos domésticos e pluviais	Transporte de efluentes de natureza distinta por diferentes colectores, o que permite diferentes condições de tratamento e destino final.	Custos elevados de primeiro investimento, associados à necessidade de dispor de dois tipos de tubagens ou colectores. É necessária uma construção cuidadosa, em termos das ligações dos ramais prediais.
Sistemas convencionais unitários	Encargo do investimento inicial, devido à construção de um único tipo de colector, que transporta a totalidade do fluxo em meio urbano. Simplicidade na ligação de ramais e colectores.	Descarga de efluentes poluídos com ocorrência de precipitação. Acréscimo de encargos energéticos e de exploração em estações elevatórias e de tratamento, devido ao excedente pluvial.
Sistemas não convencionais de colector gravítico de pequeno diâmetro ou sob vácuo	Baixo investimento em zonas planas ou com elevados níveis freáticos. Em sistemas sob vácuo, redução de risco de ocorrência de condições de septicidade e controlo de infiltração.	Investimentos de exploração e conservação, relativamente ao sistema gravítico convencional. Alto grau de conhecimento e especialização requerido para exploração eficiente.

Independentemente da natureza do sistema de drenagem em análise, existem um conjunto de componentes que asseguram o próprio escoamento do caudal a transportar, dividindo-se em redes colectoras, instalações e condutas elevatórias e órgãos acessórios. Não sendo do objectivo principal deste trabalho a vasta exposição dos componentes em causa, os principais constituintes destes grupos são apresentados no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Principais componentes dos sistemas de drenagem urbanos (FONTE: Rodrigues, 2013)

Componentes dos sistemas de drenagem
Redes interiores de edifícios
Rede geral de drenagem: colectores, câmaras de visita, sarjetas de passeio (redes unitárias) e/ou sumidouros (redes separativas de águas pluviais)
Ramais de ligação à rede de drenagem
Estações elevatórias e condutas de impulsão
Emissários e interceptores
Estações de tratamento
Exutores de lançamento e destino final
Descarregadores de tempestade
Sifões invertidos
Lagoas de amortecimento e retenção
Túneis

2.4.2 Gestão de sistemas de drenagem

Os sistemas de drenagem de águas residuais são passíveis de ser classificados no que respeita à agregação municipal na sua gestão. Segundo Galvão (2009) e Marques (2010), os sistemas de drenagem podem ser:

- Sistemas municipais com a responsabilidade de apenas uma autarquia;
- Sistemas intermunicipais, nos quais a gestão é assegurada por mais que uma autarquia, podendo ser criadas entidades para assegurarem a gestão integrada de sistemas;
- Sistemas multimunicipais, onde estão abrangidos dois ou mais municípios e a sua gestão e monitorização são assegurados pelo poder central.

Para assegurar a gestão eficiente de sistemas de saneamento básico existem diferentes níveis organizacionais, diferindo a tipologia da entidade representada consoante a sua actividade. Os modelos adoptados para a gestão e monitorização de sistemas de águas residuais são da responsabilidade da entidade gestora, sendo as mais comuns a prestação directa de serviços, a delegação de serviços a empresas constituindo parcerias com o Estado ou a empresas do sector empresarial local ou, por fim, a gestão concessionada de serviços (ERSAR, 2014).

Em Portugal, o serviço de saneamento de águas residuais é prestado com base num importante pressuposto tecnológico, onde existem várias etapas, como recolha, transporte e tratamento de águas residuais, de modo a assegurar o bom funcionamento dos sistemas. Estas etapas são frequentemente agregadas em duas categorias: as actividades em “baixa” (ou retalhistas) e as actividades em “alta” (ou grossistas). Estas actividades podem ser asseguradas por entidades distintas (ERSAR, 2014).

A cisão existente, embora tenha acarretado vantagens em termos de economias de escala, foi sinónima de perda de economias de processo. O sistema em “baixa” inclui o conjunto de

infraestruturas e instalações que asseguram a recolha e drenagem das águas residuais desde os ramais domiciliários até aos pontos de recolha do sistema em “alta”. O sistema em “alta” é o conjunto de infraestruturas e respectivos componentes que permitem proceder à intercepção, tratamento e descarga em destino final de águas residuais provenientes do sistema em “baixa” (ERSAR, 2014).

O Quadro 2.3 elucida a distribuição quantitativa de entidades responsáveis pela gestão dos sistemas quer em “baixa”, quer em “alta”.

Quadro 2.3 – Panorama das entidades responsáveis pelo saneamento de águas residuais (FONTE: RASARP 2013, ERSAR)

Modelo de gestão	Submodelos de gestão	Sanemanto de águas residuais		
		Alta	Baixa	Total
Gestão concessionada	Concessões multimunicipais	16	0	16
	Concessões municipais	2	22	24
	Delegações estatais	0	0	0
Gestão delegada	Parcerias Estados/municípios	1	1	2
	Empresas municipais e intermunicipais	0	25	25
	Associações de municípios	0	0	0
Gestão directa	Serviços municipalizados ou intermunicipalizados	0	19	19
	Serviços municipais	0	197	197
Outros submodelos de gestão/Não aplicável		0	0	0
TOTAL		19	264	283

Para melhor compreensão do panorama de entidades gestoras em Portugal continental, as figuras Figura 2.1 e Figura 2.3 demonstram, respectivamente, a distribuição geográfica de sistemas em “alta” e em “baixa”.

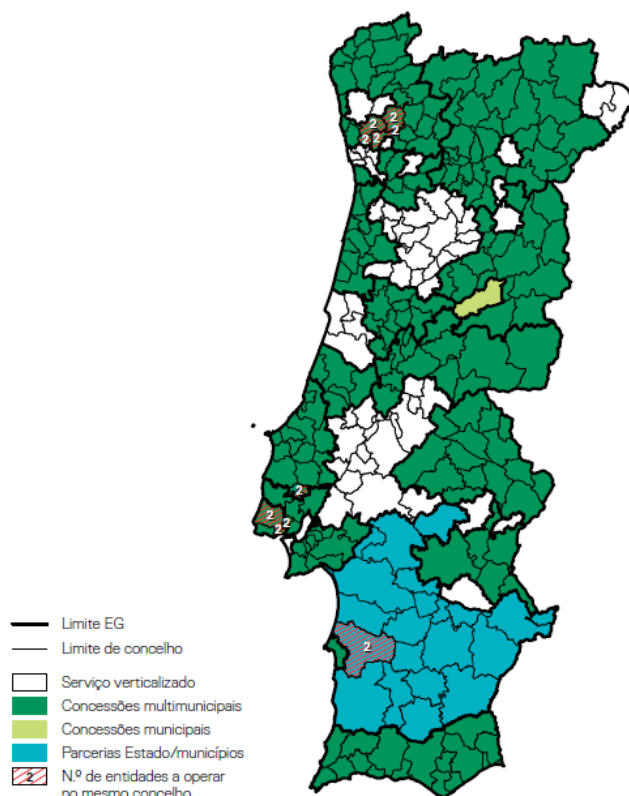


Figura 2.1 – Distribuição geográfica das entidades gestoras de serviços de saneamento de águas residuais em “alta”. Adaptado de RASARP 2012 (ERSAR 2013)

Pela análise da Figura 2.1, é perceptível que a maioria dos serviços prestados na drenagem de águas residuais em “alta” se foca em entidades concessionárias, mais concretamente abrangendo 96% da população servida e 91% dos municípios que possuem serviços saneamento de águas residuais em “alta”. No que toca à verticalização do serviço, isto é, à incorporação por parte de uma entidade gestora de todas as fases de processo produtivo do serviço de saneamento de águas residuais, responsável pelas etapas que incluem a recolha, drenagem e tratamento do efluente até ao seu destino final, verifica-se que 94 municípios e 2,9 milhões de habitantes são abrangidos, concentrando-se maioritariamente no centro e litoral norte do país (ERSAR, 2014).

A Figura 2.2 apresenta quatro indicadores sobre o paradigma actual dos sistemas de drenagem de águas residuais “em alta” em Portugal Continental. Os gráficos evidenciam a tentativa de uma abordagem integrada na gestão deste ramo do saneamento básico, visto que a maioria dos sistemas é alvo de uma gestão através de concessões multimunicipais.

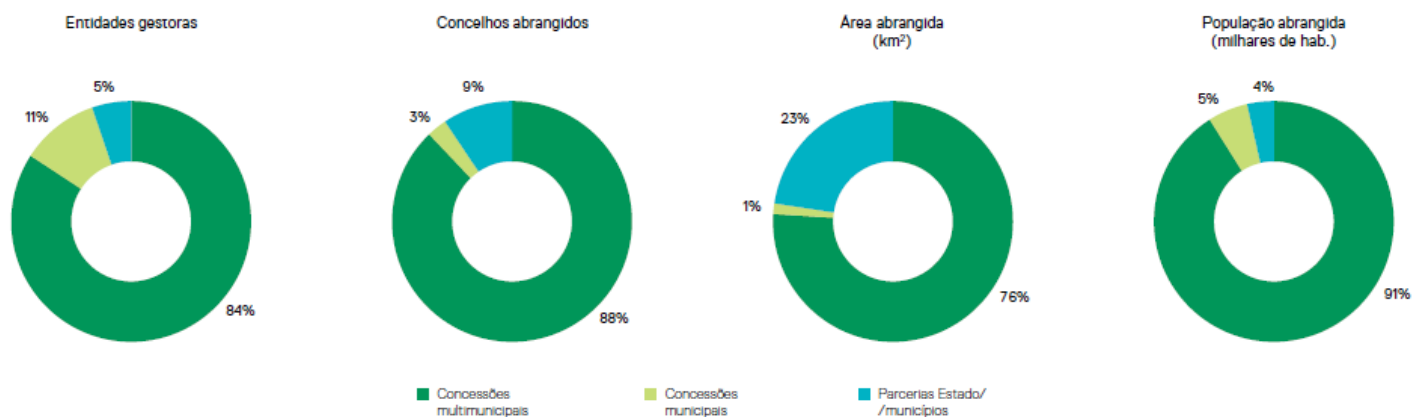


Figura 2.2 – Indicadores gerais do funcionamento de sistemas de drenagem de águas residuais em “alta”, por submodelo de gestão (FONTE: RASARP 2013, ERSAR 2014)

No que diz respeito aos sistemas em “baixa”, representados na Figura 2.3, o modelo de prestação de serviços de drenagem de águas residuais com maior expressão é a gestão directa, com 78% dos municípios e cerca de 63% da população de Portugal continental a ser abrangida por esta categoria. Os modelos de gestão delegada ou concessionada são mais expressivos no litoral ou em grandes centros urbanos (ERSAR, 2014).

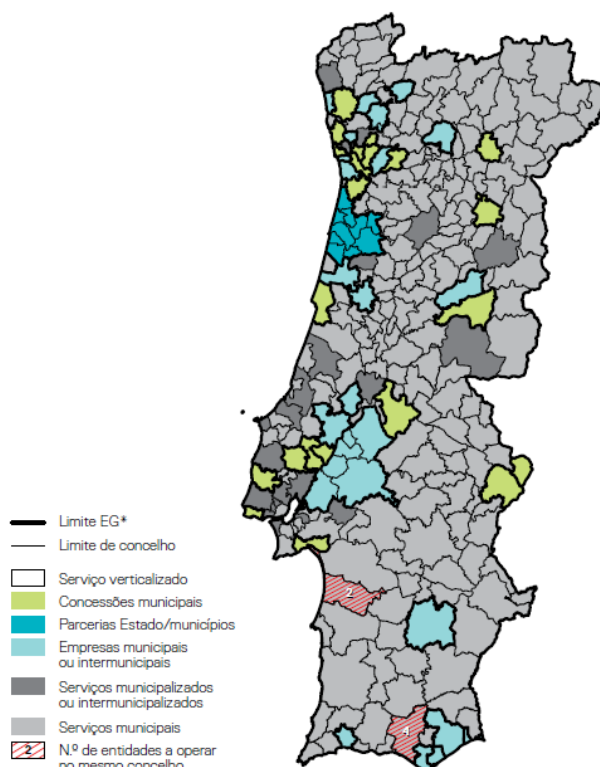


Figura 2.3 – Distribuição geográfica das entidades gestoras de serviços de saneamento de águas residuais em “baixa”. Adaptado de RASARP 2012 (ERSAR 2013)

À semelhança da Figura 2.2, a Figura 2.4 ilustra o cenário para os mesmos quatro indicadores considerando os sistemas de drenagem de “águas residuais” em baixa. Através da sua análise, é clara a predominância da gestão através dos serviços municipais.

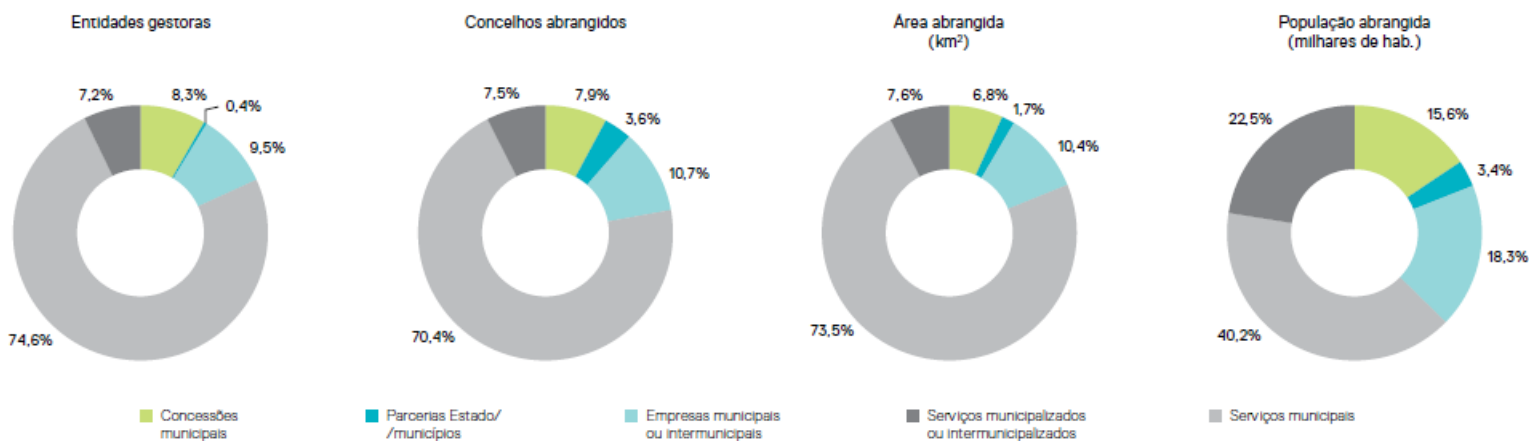


Figura 2.4 – Indicadores gerais do funcionamento de sistemas de drenagem de águas residuais em “alta”, por submodelo de gestão (FONTE: RASARP 2013, ERSAR 2014)

A utilização deste tipo de abordagem na gestão de sistemas de águas residuais em Portugal é acompanhada de diversas desvantagens, nomeadamente a nível de escala. O facto de haver destrinça entre os sistemas geridos em “alta” e em “baixa”, sendo regulados por entidades diferentes, faz com que sejam aumentadas as dificuldades quer em termos processuais, quer económico-financeiros.

O sistema de drenagem de águas residuais a funcionar em “alta” é caracterizado pela gestão da responsabilidade do grupo Águas de Portugal, através de concessões municipais. Em 2011, o subsistema obteve um *superavit* de 12 milhões de euros, devido à obtenção de rendimentos totais de 284 milhões de euros e gastos totais de 272 milhões de euros através de 19 entidades, sendo que o principal financiador destes resultados foram as entidades gestoras do sistema em “baixa” (ERSAR, 2013).

Os sistemas em “baixa” apresentam resultados bastante diferentes dos sistemas de drenagem de águas residuais a funcionar em “alta”. Geridos por 264 entidades que operam maioritariamente ao nível autárquico, quer através de serviços municipalizados, quer por meio de empresas municipais, estes sistemas apresentaram um balanço financeiro negativo referente ao ano de 2011. Este balanço refere-se aos gastos totais de 440 milhões de euros, contrastando com os rendimentos totais de 389 milhões de euros, financiados pelo consumidor do serviço, através da tarifa de saneamento anexada à factura mensal da água (ERSAR, 2013).

Do ponto de vista económico, o sector de saneamento de águas residuais é passível de ser classificado como um monopólio natural devido à inexistência de um mercado concorrencial, facto que conduz à especulação entre sector público e interesses privados. De modo a tentar aumentar o bem-estar social, o sector foi regulado economicamente. No entanto, as discrepâncias de preços praticados pelas autarquias conferem um cariz político a esta questão, em detrimento da abordagem técnica e social. A competição no ramo do saneamento apenas surge na etapa da adjudicação de projectos, no caso de existirem várias empresas que concorram entre si para garantir a sua concessão.

2.4.3 Enquadramento estratégico de investimento: PEAASAR

O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR) foi criado na década de 1990 como uma resposta estratégica de modo a aferir a implementação de soluções intermunicipais, abrangendo não só os objectivos definidos para determinada bacia hidrográfica, mas também acautelando o próprio saneamento e abastecimento de água. Esta abordagem tem sido alvo de melhorias ao longo da sua evolução de modo a corresponder às dificuldades encontradas (Matos, 2010).

A abordagem do primeiro PEAASAR (PEAASAR I), que vigorou entre 2000 e 2006, incidiu maioritariamente nos sistemas em “alta”. Este primeiro passo colocou em evidência várias lacunas processuais, porque os sistemas em “baixa” sofriam de problemas ao nível da gestão e organização, sendo necessário direccionar esforços de modo a racionalizar as entidades gestoras e os consumidores beneficiados com os serviços prestados. A análise dos resultados do PEAASAR deixou claro que, apesar de existir progresso, ainda existiam obstáculos por resolver (Matos, 2010).

Com nova planificação e reformulação surgiu, em 2007, o PEAASAR II, coincidindo com o período de implementação do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), que enquadra a aplicação da política comunitária de coesão económica e social em Portugal, no período de 2007 a 2013. Ao contrário do sucedido com a primeira versão do plano, o PEAASAR II focou-se na resolução das dificuldades administrativas verificadas nos sistemas em “baixa”; tendo sido previsto um foco principal nos investimentos que visem a articulação e interligação dos sistemas em “alta”, com a vertente em “baixa”. A nova versão do plano estabeleceu objectivos a atingir durante o seu período de vigência, podendo ser resumido, genericamente, nos seguintes propostos:

- Universalidade, continuidade e qualidade do serviço;
- Sustentabilidade do sector, através da melhoria da produtividade e eficiência
- Protecção de valores de saúde pública e ambiental.

O PEAASAR II comprometeu-se a servir 95% da população com sistemas de abastecimento de água e 90% no que respeita à drenagem de águas residuais utilizando um orçamento de 4 mil milhões de euros a distribuir pelos dois sectores de saneamento básico (águas de abastecimento e águas residuais). De forma a fazer face aos problemas detectados no funcionamento dos sistemas em “baixa” foram investidos cerca de 2 mil milhões de euros do encargo total previsto. Já os sistemas em “alta” foram alvo de um investimento que rondou os 1,5 mil milhões de euros. O restante montante iria ser utilizado para a resolução de problemas de saneamento de sectores específicos (Marques, 2010).

O PEAASAR II propõe o estabelecimento de parcerias entre Estado e municípios, com o intuito de integrar os sistemas “em baixa” municipais em sistemas multimunicipais novos ou

previamente existentes. Este plano teve, ainda, o objectivo de regulamentar a gestão de sistemas municipais e criar legislação que regulasse as concessões em “baixa”.

No que diz respeito ao nível de população abrangida por infraestruturas de saneamento de águas e águas residuais, é de verificar que, desde 2002, se registou um aumento de população abrangida pelo serviço. No entanto, este aumento tem vindo a estabilizar e ocorre com menor expressão quando comparado com o abastecimento de água. Para o saneamento de águas residuais e, apesar dos esforços desenvolvidos, é verificável que até ao ano de 2012, o objectivo do PEAASAR não foi cumprido. A Figura 2.5 demonstra essa evolução do nível de cobertura dos sistemas (ERSAR 2014).

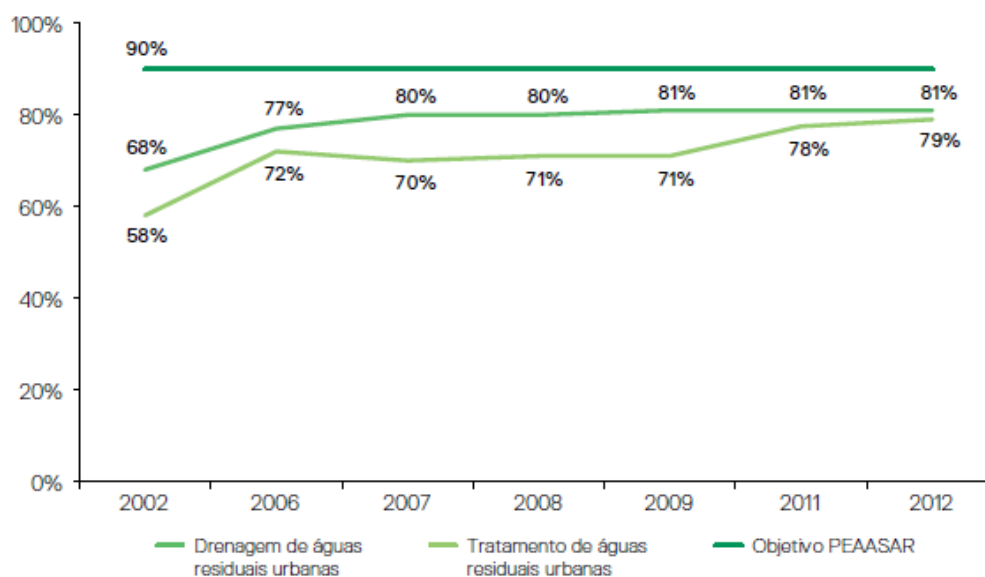


Figura 2.5 – Evolução de cobertura de serviço de saneamento de águas residuais urbanas em Portugal (2002-2012) (FONTE: INAG – Inventários Nacionais de Saneamento Básico, PNA, INSAAR 2010 – campanha 2009, e ERSAR, 2012 e 2013)

2.4.4 Enquadramento institucional

O Decreto-Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, do então Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento, ou Lei da Água, reconhece o Instituto Nacional da Água (INAG) (entretanto integrado na Agência Portuguesa do Ambiente) como a autoridade nacional da água, sendo responsável pela gestão e preservação dos recursos hídricos nacionais (Marques, 2010).

A ERSAR é responsável pela avaliação e supervisão dos serviços prestados pelas entidades gestoras no sector de saneamento e abastecimento de água. Através da ERSAR, o Estado pode garantir encargos no sector económico, no sentido de garantir o bem-estar social e o interesse público. É, ainda, garantida a obrigação de documentar toda a informação referente aos serviços prestados, de modo a esclarecer o consumidor (Marques, 2010).

2.4.5 Enquadramento legal – legislação relevante

Dos diplomas legais em vigor a nível nacional, que dizem respeito ao regulamento da actividade de saneamento, destacam-se (Coelho, 2013):

- Decreto-Lei nº 207/94, de 6 de Agosto, relativo aos sistemas de distribuição e drenagem pública e predial;
- Decreto-Lei nº 294/94, de 16 de Novembro, que diz respeito ao regime jurídico de concessão de gestão e exploração dos sistemas multimunicipais de tratamento de resíduos sólidos urbanos;
- Decreto-Lei nº 23/95, de 23 de Agosto, referente aos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e drenagem de águas residuais;
- Decreto-Lei nº 152/97, de 19 de Junho, referente à recolha, tratamento e descarga de águas residuais no meio aquático;
- Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto, relativo a normas, critérios e objectivos de qualidade da água para diferentes usos e da qualidade das descargas para protecção dos meios aquáticos;
- Decreto-Lei nº 348/98, de 9 de Novembro, que corresponde a uma actualização do Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de Junho;
- Decreto-Lei nº 56/99, de 26 de Fevereiro, referente à qualidade de descarga e concentração de substâncias perigosas;
- Decreto-Lei nº 194/09, de 20 de Agosto, que estabelece o regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos;
- Decreto-Lei nº 195/09, de 20 de Agosto, que altera o regime jurídico dos serviços de âmbito multimunicipal de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos.
- Decreto-Lei nº 195/09, de 20 de Agosto, que altera o regime jurídico dos serviços de âmbito multimunicipal de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos.

2.5 Componentes das águas residuais

Após a definição do objectivo final de uma rede de drenagem de águas residuais é de fulcral importância avaliar o rendimento de todo o processo, procurando sintetizar e mitigar as possíveis complicações que possam comprometer o correcto funcionamento do sistema. Essa verificação pode ser conseguida através da análise do ciclo de vida da estrutura permitindo, não só, prever eventuais situações prejudiciais, ainda numa fase inicial, mas também estimar o custo inerente ao funcionamento e desempenho total do sistema (Coelho, 2013).

O efluente escoado por um sistema de drenagem de águas residuais é, frequentemente, a junção de caudais provenientes de fontes distintas.

3 AFLUÊNCIAS INDEVIDAS EM SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

3.1 Considerações iniciais

A infiltração em sistemas de drenagem de águas residuais urbanas, de tipo separativo, é um tema inerente à hidráulica urbana que tem sido relativamente pouco explorado e estudado. Para compreensão desta temática é necessário um conhecimento, *a priori*, de noções técnicas relacionadas com a concepção e gestão deste tipo de sistemas. Neste capítulo, pretende-se clarificar esses conceitos, bem como expor a influência de afluições indevidas a todo o processo de drenagem de águas residuais, desde as suas origens, causas e impactes, bem como elencar a legislação vigente face a esta temática. Serão, ainda, apresentadas possíveis soluções para minimizar o impacto negativo das infiltrações.

Nos dias de hoje, os sistemas de drenagem de águas residuais representam uma dispersão urbana considerável, devido à necessidade de atendimento às populações, sendo parte constituinte do património urbano. Para uma gestão sustentável a longo prazo, é necessário obedecer a parâmetros de ordem económica e ambiental, motivo pelo qual foi criada, a nível europeu, a norma EN 752-2 (Comité Europeu de Normalização (CEN), 1996). Através desta medida, são fornecidas directivas para garantir que os meios hídricos receptores estejam protegidos de poluição e que os sistemas de drenagem urbana devam, de igual modo, garantir a sua integridade estrutural, englobando a sua estanquidade, no que se refere, essencialmente, a afluições indevidas (Cardoso *et al.*, 2006).

Este tipo de preocupação não surgiu apenas a nível europeu. A EPA (*Environmental Protection Agency*, EUA) define infiltração como sendo “a água indevida que entra na rede de drenagem, via subsolo. Tal ocorre, geralmente, através de juntas de colectores, caixas de visita e/ou ligações laterais, em função do nível freático, em relação ao colector. Também pode resultar de águas pluviais ou neve derretida que podem infiltrar o solo e chegar directamente à rede. Desse modo, um evento de precipitação pode desencadear *inflow* (uma resposta mais rápida para o sistema) ou *infiltration* sob a forma de águas subterrâneas” (EPA, 1990).

No ano de 1972 surgiu, nos Estados Unidos da América (EUA) aquela que é considerada a primeira referência científica sobre a problemática das infiltrações. O documento *Federal Water Pollution Control Act Amendments* (*The National Archives of the United States*, 1973) define e identifica a infiltração por forma a obter financiamento por parte do governo federal, visto que as entidades responsáveis pela gestão de ETAR teriam que demonstrar um baixo volume de afluições indevidas para aspirarem a estes fundos (Metcalf *et al.*, 2004).

De modo genérico, a infiltração é definida como sendo o volume de água que se introduz ilicitamente no sistema de drenagem de águas residuais de tipo separativo. Este volume de água que se infiltra no sistema tem várias designações, como águas parasitas, águas

infiltradas ou caudal de infiltração. Contudo, a denominação mais correcta para este fenómeno é “afluências indevidas”:

Importa clarificar que este termo advém da expressão frequentemente utilizada na bibliografia anglo-saxónica sobre esta temática, que define o termo *I/I* (*infiltration & inflow*), sendo que a infiltração directa é denominada *inflow* e a infiltração indirecta *infiltration*.

3.2 Afluências indevidas

A temática das influências indevidas a sistemas de drenagem de águas residuais de tipo separativo é multidimensional, na medida em que é necessário acautelar vários tipos de critérios. Estes critérios podem ser de cariz mais técnico, quando se tratam de condicionamentos ao nível da concepção ou da gestão hidráulica dos sistemas, quer a nível de sustentabilidade, porque devem ser garantidos esforços para manter a qualidade do meio hídrico receptor. Além do mencionado, existe ainda a necessidade de agregar a dominância que as condicionantes geográficas e topológicas infringem sobre o sistema, assim como a discrepância volúmica e temporal intrínseca às influências indevidas do sistema em causa (Coelho, 2013).

Devido à crescente preocupação, por parte das entidades gestoras, em assegurar o cumprimento do serviço a maior percentagem de população, a expansão e melhoramento das redes de drenagem de águas residuais tem sido preponderante, em detrimento do investimento na mitigação de influências indevidas. Contudo, e apesar de acauteladas numa fase inicial de concepção de um sistema de drenagem de águas residuais, as infiltrações revelam-se, na maioria das ocasiões, consideravelmente subestimadas em valores reais absolutos quando comparadas com valores previstos e/ou calculados.

Às infiltrações em redes de drenagem de águas residuais estão associadas elevadas divergências em termos espaciais e temporais, facto que dificulta a estimativa, com grau de confiança considerável, os volumes afluentes à rede. Dependendo maioritariamente da sua origem, as influências indevidas podem determinar incrementos volúnicos de forma repentina ou, contrariamente, de modo lato e diminuto (Cardoso et al, 2002).

Apesar de serem claras as proveniências predominante dos caudais de infiltração, através de águas pluviais e/ou águas subterrâneas, a definição de tipos de influências indevidas é de génese consideravelmente complexa. Além das referidas fontes principais, o caudal de infiltração pode sofrer um incremento no caso de existirem descargas não licenciadas, cuja origem é frequentemente desconhecida. Esta forma de infiltração é classificada como descarga pontual e de valores impossíveis de prever, pelo que não será distinguida esta parcela na análise de infiltração realizada no presente trabalho.

Como consequência da dificuldade em mapear e quantificar caudais de infiltração, a obtenção de registos sobre a eficiência de medidas tomadas, visando a redução de influências indevidas

aos sistemas de drenagem de águas residuais é complexa. Estes tipos de registo são escassos devido à dificuldade em quantificar e generalizar afluências indevidas, função especificidade de cada sistema. A tendência registada até então só poderá ser invertida com uma ampla e detalhada análise de diversas situações, de modo a estabelecer padrões de comportamento hidráulico e metodologias para mitigar os efeitos dos caudais de infiltração. Em Portugal esta tendência não difere da média registada a nível europeu.

A influência das infiltrações é particularmente sentida no desempenho hidráulico de uma ETAR. A sobrecarga volúmica devida aos caudais de infiltrações e a diluição de poluentes, que provoca uma redução na eficiência da sua remoção, constituem dois problemas no rendimento global de uma ETAR (Cardoso *et al.*, 2006).

O incremento nos caudais de infiltração acarreta um considerável aumento de volume escoado no interior das condutas, facto que coloca em causa a integridade da estrutura que assegura a drenagem de águas residuais. A deterioração das condutas aumenta, juntamente com a probabilidade de ocorrerem novas afluências indevidas conduzindo, de novo, a um aumento de volume. Dessa forma, é criado um ciclo vicioso que relaciona directamente o caudal de infiltração e a aceleração da deterioração da rede de drenagem de águas residuais (Cardoso *et al.*, 2002).

Segundo Karpf & Hoeft (2005), a influência das infiltrações pode ter duas análises distintas, a longo prazo. Por um lado, a maior percentagem de afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais provém de infiltrações causadas por águas subterrâneas, enquanto as águas pluviais são responsáveis pelos eventos de maior sobrecarga na rede.

Torna-se assim importante o estabelecimento de uma metodologia caracterizada com um grau de robustez suficiente para, não só, caracterizar indubitavelmente o presente cenário do sistema, mas também permitir a prevenção de eventos futuros que condicionem a integridade das redes de drenagem de águas residuais.

3.3 Tipologias de afluências indevidas

O conceito de “afluências indevidas”, ou caudais de infiltração, é dúbio devido ao alargado espectro de proveniências e origens a que este fenómeno está associado, não existindo uma descrição consensual sobre esta temática (Rodrigues, 2013).

No entanto, é possível verificar e catalogar as afluências indevidas consoante a sua origem e a repercussão que estas trazem a um sistema de drenagem de águas residuais. O Quadro 3.1 procura clarificar essa caracterização.

Quadro 3.1 – Definição de distintos tipos de afluência indevida (FONTE: Rodrigues, 2013)

Tipo de afluência indevida	Origem	Definição
Infiltração de percurso	Águas subterrâneas	Aflui às infraestruturas enterradas do sistema através de deficiências estruturais nos colectores ou através de câmaras de visita.
Infiltração base	Águas subterrâneas	Entra deliberadamente no sistema, proveniente de drenos, bombagem de caves ou descargas de pequenos cursos de água naturais, sendo independente do estado de conservação dos colectores.
Afluências pluviais directas	Águas pluviais	Originada através do escoamento de telhados ou por ligações indevidas em ramais pluviais de edifícios ou sumidouros.
Afluências pluviais totais	Águas pluviais	Originada através do escoamento de telhados ou por ligações indevidas em ramais pluviais de edifícios ou sumidouros.
Afluências pluviais retardadas	Águas pluviais	Água pluvial à qual está associado um período de retenção (causado por reservas ou empoçamentos característicos da bacia hidrográfica) antes da afluência ao sistema.

De modo sintetizado, a infiltração em sistemas de drenagem de águas residuais depende, essencialmente, de quatro factores: pluviosidade, ocorrência de ligações deficientes, contiguidade dos aquíferos e estado de conservação da rede (Amorim, 2007).

3.3.1 Infiltração directa

A infiltração directa é definida como a afluência de caudais de infiltração ao sistema de drenagem, com origem na ocorrência de precipitação e resultantes de escoamento directo. O aumento de caudal escoado no interior das condutas advém da junção entre os sistemas de drenagem de águas residuais e de águas pluviais, causada por ramais ilegais ou, de modo mais genérico, por ligações defeituosas ou mal concebidas.

Devido à natureza dos sistemas, este trabalho assume uma visão sobre as redes separativas em detrimento das redes unitárias. Nessa linha de raciocínio, qualquer caudal de infiltração num colector de água residual é considerado indesejável, independentemente da sua proveniência. Se a abordagem deste trabalho retratasse as redes pseudo-separativas que, na realidade, nada mais representam que o funcionamento imperfeito de uma rede separativa, a contribuição pluvial para o escoamento poderia não ser considerada como afluência indevida, podendo, no entanto, ser caracterizada como inconveniente. Por outro lado, nos sistemas unitários, o dimensionamento de infraestruturas não pode ser concretizado sem acautelar a presença de água pluvial no interior do colector, juntamente com águas residuais.

Segundo Amorim (2007) e Coelho (2013), a proveniência das infiltrações directas tem como principais fontes:

- Ligações mal concebidas entre ramais de sumidouros de rede pública ou de redes prediais ao sistema separativo doméstico;
- Mistura de caudais pluviais com caudais domésticos na rede predial (o que pode acontecer parcial ou totalmente);
- Ligações erróneas ou permutadas entre colectores pluviais e colectores domésticos;
- Tampas das câmaras de visita de colectores domésticos;

As infiltrações directas são caracterizadas pela simplicidade dos factores que as influenciam, visto que os volumes afluem directamente à rede. De acordo com Amorim (2007), esta simplicidade restringe-se a:

- Topologia do terreno;
- Condição da rede de drenagem, nomeadamente tendo em conta a ocorrência de ligações de águas pluviais à rede separativa de águas residuais e estanquidade das tampas nas caixas de visita;
- Poder de transporte do volume a drenar na rede.

Às infiltrações directas estão essencialmente associadas duas vertentes de volumes afluídos: os volumes constantes, característicos de nascentes ou áreas muito húmidas e os volumes inconstantes, ligados a fenómenos pluviométricos. Os volumes inconstantes distinguem-se por conferirem um incremento rápido e significativo dos caudais de ponta que afluem à rede, dependendo directamente da intensidade e duração do evento de precipitação.

As infiltrações directas ocorrem, na sua maioria, em redes em “baixa” devido à maior dispersão da rede, à qual estão associadas maior extensão de colectores e maior frequência, assim como maior concentração, de caixas de visita. A ocorrência de ligações ilegais de ramais pluviais domésticos e sumidouros à rede separativa de drenagem de águas residuais é, também, característica das redes em “baixa”, sendo parte importante na contribuição para o aumento de caudais de infiltração.

Para minimizar os efeitos da infiltração directa devem ser identificados os principais pontos e troços da rede onde existe maior incidência de erros de concepção. A pesquisa destes locais deve estar articulada com a determinação da sua autenticidade, bem como com a eventual correspondência com fenómenos naturais. Devem, ainda, ser estabelecidas políticas de controlo de infiltração, quer de índole física, quer através da definição de políticas e medidas correctivas, apoiadas em ferramentas de fiscalização e de carácter preventivo (EPA, 1991).

3.3.2 Infiltração indirecta

A infiltração indirecta define-se como o fenómeno de entrada de afluências de proveniência subterrânea na rede de drenagem através de duas causas fundamentais: a subida do nível freático em relação à soleira dos colectores e a baixa estanquidade da estrutura. A subida dos níveis freáticos está directamente relacionada com a ocorrência de precipitação e com a variação de marés, caso o sistema se encontre perto da costa, ou com a variação do nível hidrométrico nos cursos de água, caso a rede esteja localizada junto a uma linha de água. A variação do nível freático segue uma tendência sazonal, embora possa ser influenciado por eventos de carácter esporádico como, por exemplo, fenómenos de precipitação intensa (Vaes *et al.*, 2005).

O fenómeno de infiltração ocorre aquando da entrada de água subterrânea no colector da rede, provocado pelas diferenças verificadas no nível freático. A entrada de fluxo nas tubagens deve-se à ocorrência de fissuras, fendas ou juntas, que indiciam uma reduzida estanquidade do colector (Coelho, 2013).

Antagonicamente à infiltração directa, este tipo de afluências indevidas é característico das redes em “alta”, devido à localização dos colectores ser topograficamente mais baixa do que na rede em “baixa” e, geralmente, seguindo aproximadamente o curso linhas de água.

De acordo com a bibliografia (Almeida & Monteiro, 2004; Amorim, 2007; Cardoso, 2002; Coelho, 2013; Karpf & Hoeft, 2005), existe uma extensa variedade de factores que conduz à entrada de caudais de infiltração. Destacam-se:

- Densidade de ramais;
- Fugas existentes noutros sistemas, como pluviais;
- Tipologia das tubagens utilizadas e qualidade de construção;
- Estado físico da rede de saneamento;
- Construção e manutenção deficientes;
- Movimentos de terra junto às tubagens, provocando o assentamento dos colectores;
- Tipo de solo envolvente;
- Pressão hidrostática sob ou sobre os elementos da rede;
- Presença de agentes químicos, que provocam a corrosão dos colectores;
- Localização do nível freático e posição do colector relativamente a este;
- Estado de envelhecimento da rede;
- Qualidade e manutenção do sistema de drenagem;
- Materiais e estado da rede situada em domínio privado;
- Topografia;
- Tipologia do solo envolvente;
- Proximidade de aquíferos;
- Ligações clandestinas.

Segundo a EPA (1991), de modo a proceder à correcção da infiltração indirecta, é imprescindível respeitar quatro etapas, de modo a contrariar o efeito deste processo. Em primeiro lugar, deve proceder-se à avaliação e interpretação das condições de afluência de águas residuais, permitindo determinar a presença e extensão dessas infiltrações. Seguidamente, devem ser quantificados os volumes de infiltração, do mesmo modo que devem ser localizadas as origens desses volumes. Finalmente e, de modo físico, devem ser eliminadas as afluências indevidas ao sistema de drenagem de águas residuais, através de operações de reparação e reabilitação da rede de drenagem. A par destas medidas, é recomendada a instauração de um programa de monitorização que permita o auxílio da manutenção e da mitigação do efeito dos caudais de infiltração sobre o rendimento dos sistemas de drenagem de águas residuais.

3.4 Impacto das infiltrações no desempenho funcional dos sistemas de drenagem

Após a caracterização das afluências indevidas, torna-se importante a análise da influência das infiltrações no desempenho hidráulico em redes de drenagem.

O primeiro pressuposto na quantificação dos efeitos relativos a infiltrações é que estas nunca poderão ser totalmente anuladas, sendo que a sua frequência e intensidade são variáveis de difícil previsão. O processo de avaliação do impacto das infiltrações no desempenho funcional de sistemas de drenagem é complexo, sendo que se destacam, entre outras, três variáveis principais (Coelho, 2013):

- Impactos sobre o meio ambiente e saúde pública, produzindo consequências ao nível ecológico no local onde a rede de drenagem está inserida;
- Repercussões ao nível estrutural, que colocam em causa toda a rede;
- Influência sócio-económica no sector sanitário.

3.4.1 Impacto ambiental e saúde pública

O impacto ambiental decorrente do funcionamento deficitário é a fonte principal de discórdia e potencial perda de “boa imagem” perante o público por parte de uma entidade gestora.

O aumento de caudal através da infiltração transforma o escoamento com superfície livre em escoamento sob pressão, resultando no aumento do desgaste do material e consequente exfiltração. À ocorrência desse fenómeno está associada a poluição do ecossistema envolvente da rede em questão, sendo responsável por maus cheiros ou pelo aparecimento de esgoto à superfície, consequências criticáveis em áreas urbanas. A contaminação do solo e envolvência dos cursos de água adjacentes à rede de drenagem de águas residuais é outro dos factores associados à exfiltração podendo, ainda, e em casos extremos, ocorrer infiltração deste escoamento na rede de abastecimento de água, com consequências para a saúde pública (Almeida & Monteiro, 2004; Cardoso, 2002).

Ao incremento do volume drenado está associado o aumento do tempo de permanência desse volume indevido em estações elevatórias ou ETAR, o que pode colocar em causa o bom funcionamento dessas instalações. Para além da afectação do rendimento destas estruturas, o excesso de volume conduz à alternativa para preservar a instalação: o escoamento, através de *by-pass*, de efluente não tratado ou águas impróprias para o meio receptor, sendo este factor responsável pelo aumento de poluição na no meio receptor (Cardoso *et al.*, 2006).

3.4.2 Impacto estrutural

A qualidade do material utilizado nos órgãos e acessórios durante a concepção de uma rede de drenagem de água residual é directamente proporcional ao período de vida expectável para essa infraestrutura. Contudo, com o funcionamento do sistema, este vai, inevitavelmente, perder qualidade, pelo que a manutenção durante a exploração é igualmente importante para a preservação das condições de funcionamento do ciclo de vida do sistema.

Durante a fase de dimensionamento de uma rede de drenagem de águas residuais é comum acautelar-se a minimização de falhas, optando pelo tipo de material mais propício à condição de escoamento em questão. Contudo, essa preocupação é por vezes negligenciada durante a fase de exploração, não sendo dada atenção suficiente à prevenção de problemas que poderão comprometer o rendimento e o próprio funcionamento do sistema em causa. De facto, é por vezes observado que a manutenção é apenas efectuada quando existem casos extremos de roturas ou anomalias graves no desempenho da rede.

Outro factor que pode ser apontado como variável a considerar no ciclo de vida de uma rede de colectores é o ciclo vicioso que se inicia com a infiltração de águas parasitas no sistema, fazendo com que o caudal escoado no interior das condutas sofra um incremento, colocando em causa a integridade do colector e conduzindo à sua prematura deterioração. Quanto maior for o estado de degradação de uma conduta, maior será a probabilidade de existirem novas afluições indevidas ao sistema de drenagem que irão, por sua vez aumentar o caudal infiltrado e conduzindo a maior deterioração da rede de drenagem (Bonito, 2014).

3.4.3 Impacto sócio-económico

A mitigação dos caudais de infiltração é da responsabilidade das entidades gestoras, precisamente criadas para assegurar o funcionamento adequado de redes de drenagem, sempre tendo em conta o desempenho hidráulico, sanitário e financeiro.

As irregularidades que fomentam afluições indevidas, após localizadas e diagnosticadas, obrigam a medidas visando a sua imediata reparação, de modo a precaver a propagação de danos de maior dimensão. No cômputo mais social da questão, este tipo de medida, menos preventiva e mais impetuosa, acarreta complicações lentas e onerosas como implicações ao nível do tráfego automóvel ou a geração de poluição sonora e atmosférica, altamente criticadas pelo público afectado (Cardoso *et al.*, 2002).

3.5 Quantificação dos volumes de afluentes indevidas

O diagnóstico das origens de afluentes indevidas permite concluir sobre a pertinência desta temática para a gestão de redes de drenagem de águas residuais. É necessário quantificar, com unidades volúmicas (m^3) ou monetárias (euro) a real dimensão desta problemática, de modo a auxiliar a definição de prioridades no processo decisório.

A quantificação de caudais de infiltração pode revelar-se um trabalho difícil e moroso, que determina a fraca qualidade e insuficiente quantidade de registos auxiliares à compreensão da problemática das afluentes indevidas. Esta carência de dados dificulta a definição de relações causa-efeito e, portanto, uma análise fiável ao problema.

Para se concluir o balanço volúmico associado às infiltrações, há que separar caudais definidos na fase de projecto, aquando a determinação dos caudais de dimensionamento, e os caudais associados à fase de exploração, avaliando o desempenho do sistema em termos técnicos e económicos. Assim, não basta prever o caudal de infiltração antes da entrada em operacionalidade do sistema, mas também relacionar a componente desse caudal de infiltração com caudal total drenado (Coelho, 2013).

3.5.1 Cálculo do caudal de infiltração em fase de projecto

Em Portugal, para se quantificar o caudal de projecto há que acautelar, de acordo com os regulamentos em vigor, os volumes indevidos de águas parasitas. Assim, a sua expressão de cálculo é:

$$Q_{proj} = k \times Pop \times Cap + Q_{ind} + Q_{inf}$$

Em que:

- Q_{proj} representa o caudal de projecto;
- k simboliza o coeficiente de afluência (0,8 ou 0,9);
- Pop define a população, dada em habitantes equivalentes;
- Cap representa a capitação, em l ou m^3 por habitante e por unidade de tempo;
- Q_{ind} simboliza o caudal industrial;
- Q_{inf} representa o caudal de infiltração ou afluentes indevidas

Para determinar a população associada à utilização da estrutura de um determinado projecto, recorre-se, de modo usual, aos censos levados a cabo pelo Instituto Nacional de Estatística (INE). A essa base de dados, são aplicadas projecções de modo a determinar os habitantes servidos pela rede nessa bacia de drenagem, no ano horizonte de projecto.

A capitação é um valor regulamentar, tabelado e normalizado consoante a tipologia de cada caso em estudo. Contudo, devido a características como a flutuação da população, pode ser ajustada com base empírica de situações semelhantes e fazendo jus às premissas de cada projecto.

O caudal industrial está associado à proximidade da rede de drenagem a uma zona industrial, cujos caudais diferem em muitos parâmetros das descargas domésticas e que, por isso, devem ser tratados de forma diferenciada. Esses caudais dependem, não só, dessa proximidade ou presença de zona industrial, mas também da natureza das indústrias envolvidas.

Como tem sido referido ao longo desta dissertação, não existe uma forma simples, concisa e directa de determinar caudais de infiltração. Para além disso, em Portugal demoram a ser tomadas medidas que facilitem essa tarefa como, por exemplo, o estabelecimento de uma base de dados a nível local.

Em Portugal, para o cálculo de infiltrações em fase de projecto, os projectistas apoiam-se, face à inexistência de dados, no Deceto-Lei nº 23/95, de 23 de Agosto, coloquialmente designado como Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR). Este regulamento define valores pré-estabelecidos para caudais de infiltração, de acordo com a dimensão e extensão da rede a montante. Todavia, a estimativa do caudal infiltrado é normalmente pouco fiável, já que não considera factores como a natureza topográfica e geológica da zona analisada.

Devido à incerteza existente na determinação de volumes infiltrados, cada país procurou identificar um valor regulamentar a nível nacional ou uma formulação adequada, com base nas características topográficas e geológicas de cada área, assim como em função do diâmetro e da extensão da rede a montante. Apesar de não ser aconselhável, os caudais de infiltração podem ser numericamente superiores aos valores de caudal de projecto, facto que espelha o rendimento do sistema em causa (Bonito, 2014).

Naturalmente, torna-se um exercício interessante comparar o regulamento nacional com directrizes de outros países. Existem, inclusivamente, países com mais do que uma solução. Apesar do vasto leque de escolhas para estimar infiltrações, não existe consenso nem precisão para a comunidade científica na quantificação desse fenómeno (Bertolino, 2013).

O Quadro 3.2 apresenta a comparação das directrizes nacionais com quatro países. A escolha destes países é baseada na variada existência de normas (EUA), na comparação com outro país de língua portuguesa (Brasil) e com dois países europeus, com diferentes abordagens na estimativa de caudais de infiltração (Alemanha e Irlanda).

Quadro 3.2 – Critérios da quantificação em projecto da contribuição da infiltração (Cardoso *et al.*, 2002)

País	Norma	Critério
Portugal	Decreto-Lei nº 23/95 (1995)	Para $D \geq 300$ mm: igual ao caudal médio anual
		Para $D < 300$ mm: entre 0,5 e 4 m ³ /dia.cm.km
		Depende do estado de conservação dos colectores, podendo ser considerados valores inferiores se assegurada a estanquidade da rede
	USEPA <i>Guidelines</i>	Caudal de infiltração igual a 140 l/dia por mm de diâmetro e por km de comprimento da rede
	Metcalf & Eddy (1981)	Taxa de infiltração de 0,15 a 0,60 l/s.km. Valor para 160m de rede por hectare. Dados originais em função da área drenada.
EUA	<i>American Society of Civil Engineering - Water Environment Federation</i> (EPA, 2001)	0,05 a 1,39 m ³ /dia.cm.km. Variação de valores de referência local nos EUA.
	<i>Water Authorities Association</i> (1989)	Taxa de infiltração de 0,15 a 0,60 L/s.km. Valor para 160m de rede por hectare. Dados originais em função da área drenada.
Brasil	SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 1984)	0,05 a 0,50 L/s.km
	ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) - NBR 9649 (1986)	0,05 a 1 L/s.km
Irlanda	<i>Greater Dublin Area Sewer Network</i>	Caudal de infiltração entre 10% a 15% do caudal médio diário em tempo seco.
Alemanha	Norma ATV118 (ATV-DVWK 2003)	100% do caudal doméstico (em casos justificados pode assumir outra magnitude) - sistemas separativos
		Negligenciada no dimensionamento dos colectores mas considerada no dimensionamento de estruturas especiais e estações de tratamento - Sistemas unitários

Na prática, as entidades gestoras tendem a padronizar valores superiores àqueles estipulados legalmente, particularmente em zonas com incidência de fenómenos hidrológicos mais críticos, com reservas aquáticas abundantes e, nem sempre, detectáveis (Cardoso *et al.*, 2002).

3.5.2 Cálculo do caudal de infiltração em fase de exploração

Ao contrário do que ocorre na fase de projecto, onde as infiltrações são tratadas unitariamente, na fase de exploração é possível segregar os caudais de infiltração em infiltração directa e infiltração indirecta.

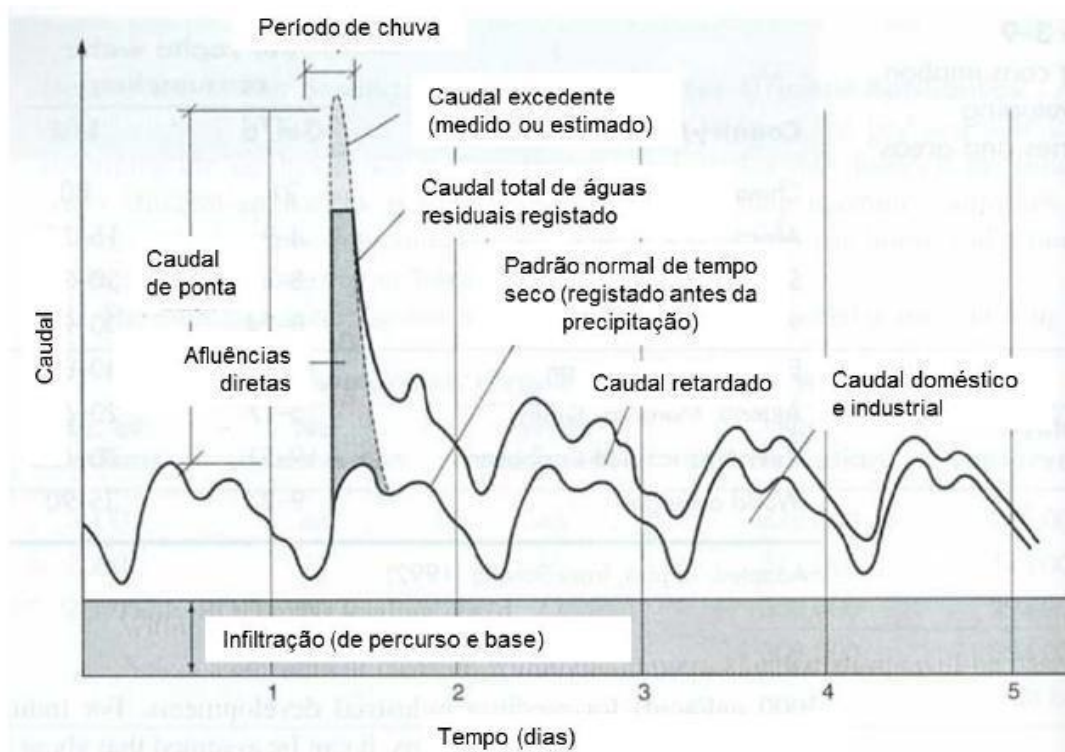


Figura 3.1 – Identificação gráfica das afluências indevidas (adaptado de Metcalf *et al.*, 2004)

Como foi referido na secção 3.3.1., o caudal de infiltração directa é, independentemente do seu carácter sazonal, constante ao longo do tempo. Contrariamente, as afluências indevidas indirectas caracterizam-se por serem de carácter mais repentino, inconstante e, por isso, mais imprevisível. Apesar de existirem formulações que permitem quantificar ambos os tipos de infiltração (em conjunto ou de forma individual), nenhum desses métodos prevalece em relação aos outros, conferindo um carácter ambíguo ao cálculo de volumes infiltrados e impossibilitando a uniformização e clarificação desta temática. É possível calcular e quantificar os caudais de infiltração através de:

- Balanços hídricos, que consistem numa metodologia apoiada na subtração de valores de caudal a montante aos valores verificados a jusante que, maioritariamente, descrevem o volume de água afluente à ETAR;
- Hidrogramas, que são métodos rigorosos similares aos utilizados nos hidrogramas de cheia, em hidrologia e recursos hídricos;
- Marcadores, nos quais se quantifica o volume indevido afluente em função de uma particularidade distinta das águas residuais onde ocorre infiltração;

- Modelos de simulação, baseados em modelos computacionais, que utilizam algoritmos semelhantes aos utilizados nos modelos de percolação e que permitem a previsão de eventos na bacia hidrográfica alvo de simulação.

Por consequência da ambiguidade que caracteriza o cálculo dos volumes infiltrados, concluiu-se ser necessário separar os métodos de cálculo de afluências indevidas existentes, consoante os mesmos quantifiquem infiltração directa, indirecta ou ambas.

3.6 Detecção de fontes de infiltração

3.6.1 *The Great Dublin Strategic Drainage Study*

O primeiro passo dado para detectar potenciais fontes de infiltração surgiu no período entre 2001 e 2004, com a Grande Iniciativa Estratégica de Dublin para o Estudo dos Sistemas de Drenagem Urbana. Este método considera estratégias que permitem, com foco na área de Dublin, a sustentabilidade económica e funcional das infraestruturas sanitárias (Hyder, 2005).

Durante o seu período de desenvolvimento, o projecto propõe uma série de medidas e procedimentos que poderão ser adoptados para diversos países, com as devidas adaptações e fases de teste.

Actualmente, as maiores lacunas na determinação e avaliação de caudais de infiltração devem-se à falta de qualidade na obtenção de registos, assim como no seu tratamento, dificultando a percepção sobre o modo como o fenómeno se processa numa dada região.

A estratégia de Dublin considera a utilização de dois métodos principais para o cálculo de volumes infiltrados: caudal de tempo seco e caudal provocado directamente por fenómenos pluviométricos.

De modo a detectar fontes de infiltração, *The Great Dublin Strategic Drainage Study* considera cinco técnicas distintas (Hyder, 2005):

- Teste com recurso a traçadores;
- Teste com recurso a injeção de fumo;
- Inspeções visuais;
- *Jetting* (limpeza por jacto);
- Isolamento de pequenos traços de rede.

A aplicação de cada técnica é directamente influenciada pelo grau de complexidade do sistema onde esta será implementada devendo, ainda, ser averiguada a viabilidade do método a ser utilizado (Hyder, 2005).

3.6.1.1 Teste com recurso a traçadores

Esta metodologia envolve a utilização de um traçador não tóxico, cuja colocação na rede permite identificar a entrada de água na rede de drenagem, mais concretamente nos colectores. A sua aplicação comum passa pela colocação dos traçadores em locais estratégicos da rede, como jardins, tubos de queda ou drenos de fundação, representativos do pior cenário de infiltração de águas pluviais (Hyder, 2005).

A aplicação deste método envolve um bom conhecimento do local, pelo que a realização de um estudo prévio, no qual sejam mapeados todos os potenciais locais de infiltração, se torna fundamental. Todavia, esta necessidade pode constituir um factor que limite a aplicação do método, principalmente se os pontos mais críticos se localizarem em propriedade privada (Hyder, 2005).

De modo a auxiliar a implementação dos traçadores, recorre-se correntemente a inspecções visuais. A avaliação do fenómeno ocorrido permite determinar infiltrações directas e indirectas (Hyder, 2005).

3.6.1.2 Teste com recurso a injeção de fumo

Esta técnica consiste na injeção de fumo, colorido e não tóxico, sob uma ligeira pressão nos colectores da rede, com vista a averiguar o grau de estanquidade do sistema. Pode ser utilizado com o intuito de examinar os locais de fuga dos gases nocivos produzidos ao nível das águas residuais, mas também para observar a ocorrência de fendas ou fissuras que conduzem à infiltração de água. É um processo célere, com uma duração entre 10 a 30 minutos e de simples aplicação (Hyder, 2005).

A ocorrência de precipitação ou de ventos fortes limitam a utilização do teste de injeção de fumo, assim como a presença de uma elevada taxa da quota indirecta da infiltração, impedindo a correcta detecção de defeitos no sistema de drenagem. A obrigatoriedade da realização no período diurno, sem ocorrência de neve, são outros factores que limitam a utilização desta técnica. A detecção de anomalias por intermédio de injeção de fumo não permite a avaliação de danos ao nível estrutural, mais concretamente interligações ou conexões, enquanto estes se encontram operacionais, o solo envolvente está saturado ou a superfície se encontra congelada ou coberta de neve (EPA, 1991).

Tal como o recurso a traçadores para tingir a rede, o método de detecção de anomalias por injeção de fumo na rede permite detectar infiltração de origem directa e/ou indirecta (Hyder, 2005).

3.6.1.3 Inspeção visual CCTV

As inspecções CCTV (*Close Circuit Television*) têm-se revelado a melhor técnica na identificação e localização de anomalias num sistema de drenagem de águas residuais, devido

à sua elevada precisão e detalhe. A sua utilização é frequentemente levada a cabo a jusante da execução dos métodos anteriormente descritos, visto que estes, de utilização mais simples, permitem um diagnóstico mais célere, sendo a inspecção visual CCTV utilizada para maior detalhe e pormenor na avaliação da anomalia detectada (Hyder, 2005).

Esta técnica consiste na filmagem do interior da rede de drenagem, recorrendo à utilização de um *robot* equipado com câmara de vídeo. Pressupõe a garantia da inexistência de obstruções e a necessária remoção de detritos para a máquina poder operar no interior dos colectores (Bonito, 2014).

As vantagens da aplicação deste método são vastas, desde a garantia da segurança dos operadores, face à eventual presença de gases tóxicos, ao registo contínuo da rede e as suas conexões, com consequente geração de dados de alta qualidade que auxiliam o desenvolvimento de planos de gestão por parte da entidade gestora. Finalmente, a eficiência desta técnica em conhecer a localização específica de defeitos e bloqueios permite a rápida e exacta reparação ou reabilitação da zona afectada (Coelho, 2013).

A possibilidade de filmar o interior das condutas simultaneamente com a deslocação do *robot* permite a total cobertura da rede, facilitando a avaliação da sua condição estrutural. No caso de ser realizada periodicamente, esta técnica revela-se bastante promissora no programa de manutenção preventiva, bem como parte integrante da investigação de causas de afluências indevidas.

3.6.1.4 *Jetting*

O *jetting*, ou limpeza por jacto, das redes de drenagem de águas residuais revela-se como uma alternativa económica e de simples execução para a identificação de ligações cruzadas e erróneas a colectores de pequenos diâmetros (Hyder, 2005).

Este método apenas consegue determinar infiltrações de origem directa, já que se revela impossível verificar o extravasamento da água injectada para o exterior dos colectores, estando estes enterrados no solo (Hyder, 2005).

3.6.1.5 Isolamento de troços da rede

Existindo a suspeita que a infiltração se encontra restrita a certas áreas da bacia de drenagem, uma das abordagens mais comuns é a restrição dessa zona em troços, sendo a consideração do seu isolamento o mais aconselhável. Baseia-se na detecção por injeção de água, ou ar, na rede de drenagem, de modo a detectar fontes de infiltração de origem indirecta (Hyder, 2005).

As suas principais limitações prendem-se com a segurança do isolamento total do troço considerado, visto que se revela complicado garantir que o troço em causa não recebe caudais da restante rede, ainda que em volume inferior, facto que pode adulterar os resultados do teste (Hyder, 2005).

3.6.2 Caudal em tempo seco

Como referido anteriormente, admite-se que o caudal de tempo seco é dado pela quantificação dos volumes afluentes que se infiltram de forma indirecta, somados com a componente de águas residuais de origem doméstica e industrial, sem influência da infiltração directa (ver secção 3.6.1.1). Desse modo, permite-se comparar os caudais totais registados à cabeça da estação de tratamento com o caudal em tempo seco, resultado de um pressuposto matemático, sem a adição da parcela relativa à infiltração directa, com a seguinte expressão de cálculo (Amorim, 2007):

$$Q_{tempo\ seco} = Pop \times Cap + I_{indirecta} + Q_{industrial}$$

Na qual:

- $Q_{tempo\ seco}$ representa o caudal de tempo seco (m³/dia);
- Pop corresponde à população residente;
- Cap simboliza a capitação associada à população residente (m³/dia.hab);
- $I_{indirecta}$ equivale à parcela de infiltração indirecta (m³/dia);
- $Q_{industrial}$ diz respeito ao caudal industrial descarregado (m³/dia).

O valor associado à capitação pode ser estimado através da consulta do Decreto-Lei nº 23/95, numa fase inicial. Contudo, essa estimativa nem sempre é viável, visto que o seu valor está dependente de factores relacionados com o uso quantitativo e qualitativo da água pela população. Numa fase posterior, com robusta observação de tendências a acompanhar todo o processo, a capitação pode ser estimada com menor grau de incerteza.

O caudal industrial pode ser medido através dos registos das descargas industriais afluentes à rede de drenagem. Na prática, é estipulado um valor máximo a descarregar unitariamente por cada indústria, correspondendo ao volume máximo admissível. Essas descargas devem ser efectuadas nos períodos de menor afluência doméstica à rede de drenagem, de modo a preservar a qualidade do sistema.

O caudal em tempo seco fornece o volume esperado, por dia, em determinada secção da rede sendo, directamente, função do nível de informação obtida, pelo que esta formulação se sujeita à quantidade e qualidade dos registos.

Após a quantificação do caudal em tempo seco, o valor da infiltração é obtido pela diferença entre esse caudal e o caudal que aflui à estação de tratamento. Os dados de caudal que afluem às ETAR são, normalmente, de elevado grau de fiabilidade, principalmente se não ocorrerem fenómenos de pluviosidade num período de segurança que flutua entre sete e dez dias, uma vez que a influência da precipitação se pode fazer sentir até um período de seis meses após a sua ocorrência, dependendo das características da rede de drenagem (Amorim, 2007). Esta influência deve-se, sobretudo, à componente da porosidade denominada capacidade de campo ou retenção específica, que corresponde ao volume de água que fica

retida no solo, resistindo à acção da gravidade, essencialmente por capilaridade, (Lencastre & Franco, 2010).

Para assegurar maior nível de certeza no cálculo da infiltração, deve ser assegurado o facto de todos os caudais afluentes à estação de tratamento durante o período estipulado se encontrarem isentos da parcela pluviométrica, de modo a não influenciar os resultados obtidos.

Se existir informação sobre a rede de drenagem como, por exemplo, idade e material das tubagens ou tipo de solo onde assenta a rede de colectores, a estimativa dos valores de infiltração poderá ser realizada de modo mais preciso, sendo possível expressar os dados sob a forma de indicadores, como caudal por unidade de diâmetro e por unidade de comprimento de rede.

No caso de inexistência de registos relativos à rede de drenagem, aliado à impossibilidade de quantificar a componente indirecta da infiltração, admite-se, frequentemente, que esta parcela se fixe em 45% da componente resultante do somatório entre o caudal industrial e consumo doméstico. A expressão seguinte permite, deste modo, estimar a parcela indirecta da infiltração (Hyder, 2005):

$$I_{indirecta} = 0,45 \times (Pop \times Cap + Q_{industrial})$$

A percentagem admitida para a infiltração indirecta, quando não existe uma série de dados com robustez considerável, surgiu na execução do projecto CIRIA (*Construction Industry Research and Information Association*), no ano de 1996. O valor em causa foi estudado na Inglaterra e na Escócia e, por questões de proximidade geográfica, tendências hidrológicas e geológicas, admite-se que representa um valor próximo do real valor registado na Irlanda (Hyder, 2005).

Considera-se que o caso português deve ser alvo de um estudo concreto, de modo a estabelecer a consonância com o valor indicado pelo projecto CIRIA.

3.6.3 Caudal mínimo

Seguindo o mesmo raciocínio aplicado na secção 3.6.2., na qual se expôs o método para o conhecimento do caudal em tempo seco, a quantificação do caudal mínimo supõe o conhecimento do valor do caudal em tempo seco, mas apenas durante as primeiras horas do dia, altura na qual a variação do volume afluente às estações de tratamento é praticamente nula (Amorim, 2007; Hyder, 2005).

O registo de caudais em tempo seco, nos vários períodos do dia, permite a determinação de diversos de caudais característicos e, neste caso, permite comparar valores mínimos diários com afluências médias registadas num período de 24 horas, ambas em tempo seco.

Tende a considerar-se, frequentemente, que a contribuição doméstica para o caudal mínimo nocturno é correspondente a 10%. Contudo, esta estimativa carece de rigor, uma vez que depende dos hábitos de consumo da população servida (Amorim, 2007; Hyder, 2005).

Através da diferença entre o caudal médio em tempo seco e o caudal mínimo em tempo seco, sendo esta afectada por um coeficiente de 0,9 (considerando 10% o valor do caudal mínimo), tem-se que (Amorim, 2007; Hyder, 2005):

$$Q_{md} - Q_{\text{mínimo noite}} = 0,9 (Pop \times Cap + Q_{\text{industrial}})$$

Onde,

- Q_{md} representa o caudal médio diário (m^3/dia);
- $Q_{\text{mínimo noite}}$ simboliza o caudal mínimo nocturno (m^3/dia);
- Pop corresponde à população residente;
- Cap simboliza a capitação associada à população residente ($m^3/\text{dia.hab}$);
- $Q_{\text{industrial}}$ diz respeito ao caudal industrial descarregado (m^3/dia).

Da expressão anterior resulta (Amorim, 2007; Hyder, 2005):

$$I_{\text{indirecta}} = Q_{md} - (Pop \times Cap + Q_{\text{industrial}})$$

Na qual,

- Q_{md} representa o caudal médio diário (m^3/dia);
- Pop corresponde à população residente;
- Cap simboliza a capitação associada à população residente ($m^3/\text{dia.hab}$);
- $Q_{\text{industrial}}$ diz respeito ao caudal industrial descarregado (m^3/dia).

Tal como ocorre na utilização do método do caudal em tempo seco, o método do caudal mínimo pressupõe o conhecimento, *a priori*, dos eventos de precipitação antecedentes, considerando que estes fenómenos podem assumir elevada influência no prolongamento temporal da infiltração no solo. A consideração de um período de sete dias consecutivos sem precipitação, utilizado no método do caudal em tempo seco, é igualmente viável aquando a utilização do método do caudal mínimo (Amorim, 2007; Hyder, 2005).

A maior limitação deste método está associada à medição de caudais. O escoamento com superfície livre, com valores reduzidos, como é o caso dos caudais mínimos, torna a sua medição uma tarefa difícil. A medição de caudais mínimos deve ser levada a cabo por intermédio de medidores de caudal ultrassónicos, instrumentos de custo elevado, mas que revelam ser capazes de medir com exactidão valores bastante baixos de caudal (Amorim, 2007).

3.7 Análise de locais e elementos vulneráveis

Como foi descrito na secção anterior, existem diversas metodologias para localizar origens de águas de infiltração, permitindo realizar uma associação causal de anomalias do sistema. Porém, a par com a detecção de tais processos, surge também a necessidade de confinar a área ou secção da rede em causa, com o intuito de serem aplicados métodos que permitam a mitigação da propagação de irregularidades. Este processo deve ocorrer seguindo uma lógica adequada, contemplando moderação de custos na fase de projecto que possam, posteriormente, afectar o rendimento do sistema.

Os pontos (ou troços) da rede com forte propensão a serem origem de afluições indevidas podem ser facilmente detectados, se a montante for realizada uma cuidada análise, abrangendo diversos parâmetros. Não se tornando, de todo, uma aproximação definitiva, a separação da rede em troços, bem como a localização dos pontos mais vulneráveis, conduz ao incremento da eficiência dos métodos de detecção. Dessa forma, torna-se mais acessível a compreensão da real dimensão do problema, nomeadamente do real volume de afluições indevidas.

Os parâmetros de análise da rede, com vista a restringir a procura de anomalias do sistema, são apresentados nas secções seguintes. Assumem um carácter empírico, não deixando de ser úteis para alcançar a diminuição das infiltrações nos sistemas de drenagem de águas residuais.

3.7.1 Topografia

O mapeamento do sistema de drenagem permite obter o traçado e a profundidade da rede de drenagem. Quando cruzado com as características do local onde a rede se insere, é possível aferir os pontos nos quais existe maior solicitação ou preponderância para a ocorrência de infiltrações.

Segundo Coelho (2013), existem cinco principais focos que podem induzir infiltração, abordando a questão em função da topografia da bacia de drenagem:

- Pontos baixos, críticos da rede, que obrigam a bombagem do efluente de modo a permitir o seu escoamento para jusante. Nestes pontos, a sedimentação é maior, devido à superior profundidade dos colectores, que também coloca questões sanitárias e ao nível estrutural;
- Locais planos que, pela inexistência de declive à superfície, originam acumulação de água, aquando da ocorrência de fenómenos pluviométricos, com consequente acréscimo de infiltração;
- Pontos com estradas com maior tráfego, nas quais o rolamento de cargas conduz ao assentamento do terreno, podendo conduzir à rotura nas juntas de ligação dos colectores;

- Locais com maior proximidade ao nível freático, sendo que um colector que se situe abaixo do nível freático estará mais sujeito a uma maior pressão hidrostática, potenciando a infiltração;
- Locais com vegetação, nos quais as raízes podem conduzir a fissuras na tubagem, com consequente ocorrência de infiltração.

3.7.2 Estado de conservação da rede de drenagem

O estado de conservação de uma rede de drenagem é uma das condições fundamentais para o correcto desempenho da rede sanitária. O material com que esta é concebida, o equipamento utilizado na operacionalidade e gestão dos sistemas de drenagem urbana e, finalmente, o registo de anomalias detectadas, quando analisado com atenção, poderão levar à identificação de secções problemáticas (Coelho, 2013).

3.7.3 Cruzamento de redes de drenagem de águas residuais com águas pluviais

A infiltração de origem pluvial é, muito provavelmente, a maior contribuição para o volume total de afluições indevidas a um sistema de drenagem de águas residuais do tipo separativo. De acordo com o anteriormente referido, essa designação substituída por sistemas pseudo-separativos, mais adequada para caracterizar tais redes. Se uma ligação errónea acarreta um vasto número de problemas para o sistema, o cruzamento entre a rede de drenagem de águas residuais e a rede de drenagem de águas pluviais pode trazer problemas de elevado grau de dificuldade no que toca à sua resolução.

3.7.4 Elementos vulneráveis da rede de drenagem

Os elementos mais vulneráveis numa rede de drenagem são, igualmente, parte importante na infraestrutura de saneamento. Consequência da sua função no sistema, são muitas vezes fonte de infiltrações:

- Ramais domiciliários – a fraca qualidade na sua construção e por estarem muito à superfície, são propícios a fendas e fissuras na sua tubagem, além das ligações de juntas frágeis;
- Juntas de ligação – a dificuldade de trabalhar em vala, execução ligeira e apressada e fraca fiscalização são alguns factores para juntas mal executadas e foco de infiltrações indirectas;
- Caixas de visita – degradação e declive reduzido conduzem a eventuais infiltrações directas.

3.8 Métodos de quantificação de infiltração em fase de exploração

3.8.1 Infiltração directa

3.8.1.1 Recomendação do IRAR nº 04/2007

No ano de 2007, o extinto Instituto Regulador de Água e Resíduos (IRAR) – actualmente Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR) – publicou uma recomendação para as instituições gestoras de águas residuais na qual propõe um conjunto de medidas para auxiliar a facturação e quantificação de volumes pluviais que afluem às redes de drenagem de águas residuais urbanas.

Com o nome de “Facturação de serviços em alta de saneamento de águas residuais urbanas com contribuição de águas pluviais”, a recomendação 04/2007 do IRAR pretende uniformizar, a nível nacional, a gestão dos sistemas em “alta” e a sua integração nas medições, tendencialmente diárias, nos sistemas em “baixa”. Através desta metodologia, seria possível não só estimar volumes descarregados, mas também quantificar a parcela relativa à infiltração directa, quantificando caudais descarregados por cada utilizador. A recomendação refere, ainda, que esta metodologia deverá ser adoptada quando existe viabilidade e disponibilidade económica e técnica (Coelho, 2013).

A recomendação nº 04/2007 do IRAR aconselha a determinação de caudais de tempo húmido e de tempo seco através da recolha contínua de caudais afluentes à ETAR na entrada da mesma ou em pontos de recolha, nos quais se cruzam as componentes em “baixa” e em “alta” da rede de drenagem de águas residuais. A medição contínua permite a análise da tendência descrita pelos volumes afluentes à instalação, assim como definir uma curva de caudais acumulados, sendo que as afluências resultam da comparação de valores registados durante o tempo húmido e os valores de referência, estimados para tempo seco. O volume pluvial é indicador da infiltração ocorrente e é dado pela diferença entre o caudal em tempo húmido e em tempo seco.

Além da medição do volume afluente à ETAR e nos pontos de recolha, é necessário ter em conta a pluviosidade. A medição deve ser efectuada através de diferentes udómetros, colocados em pontos estratégicos da área servida pela rede em causa, de modo a distinguir os valores de tempo húmido e tempo seco, ou seja, com e sem precipitação.

Num dia que ocorra precipitação, deverá ser utilizada a medição udométrica, realizada, de modo preferencial, em pontos nas quais se define correctamente a contribuição pluvial, para o cálculo do valor característico do caudal de infiltração. Contrariamente, nos dias em que não ocorre precipitação, deverão apenas ser considerados os valores diários registados nos medidores de caudal que, na prática, simbolizam os caudais domésticos e, eventualmente, industriais e comerciais totais recolhidos pela rede de saneamento.

Nos dias de chuva, deverão ser distinguidas as parcelas que dizem respeito à componente pluvial e à componente de água residual, tal como indica a expressão apresentada em seguida, considerando a média aritmética dos volumes mensurados dos dias precedentes e M dias ininterruptos do tempo seco (Almeida & Monteiro, 2004; IRAR, 2007):

$$V_n^{jT} = V_n^{jad} + V_n^{jap} = \min\left(V_n^{jT}; \frac{\sum_{M=1}^M V_m^{jt}}{M}\right) + V_n^{jap}$$

Na qual:

- V_n^{jT} corresponde ao volume total medido no ponto de medição j no dia de chuva n;
- V_n^{jad} simboliza o volume de águas residuais domésticas medido no ponto de medição j no dia de chuva n;
- V_n^{jap} corresponde ao volume de águas pluviais medido no ponto de medição j e no dia de chuva n;
- M representa o número de dias do último período ininterrupto de tempo seco. Considera-se, como valor mínimo regulamentar, 10 dias.
- $\frac{\sum_{M=1}^M V_m^{jt}}{M}$ refere-se ao valor dos volumes totais medidos no ponto de medição j, no último período contínuo de tempo seco, M.

No caso do valor médio (com ocorrência de precipitação) ser inferior ao valor médio habitualmente medido (em dias sem chuva), deverá ser adoptado o segundo valor.

O volume pluvial deverá ainda ser afectado por um parâmetro k, a deduzir na fase do cálculo do caudal a facturar. Assim, é sugerido:

- 01/07/2010 a 31/12/2010 um factor k de 0,7;
- 01/07/2011 a 31/12/2011 um factor k de 0,8;
- 01/07/2012 a 31/12/2012 um factor k de 0,9;
- A partir de 01/01/2013 um factor k de 1.

3.8.1.2 Índice API e Índice NAPI

Existem diversos factores que podem influenciar um sistema de drenagem de águas residuais perante a presença de infiltrações, sendo que cada rede pode responder de modo diverso aquando a ocorrência desse estímulo. É consensual a relação entre a ocorrência de precipitação e o incremento de caudal escoado na rede de drenagem. A resposta do sistema depende, fundamentalmente, da tipologia do solo e da sua permeabilidade, condições de escoamento, concepção da rede (construção e materiais utilizados) e precipitação anteriormente verificada (Cardoso *et al.*, 2006, Coelho, 2013).

Segundo Ali *et al.* (2010), é possível padronizar o fenómeno da infiltração directa através da obtenção de registos, com um número alargado de anos, baseados no acréscimo do valor de

caudal infiltrado por intermédio da ocorrência de fenómenos pluviométricos. Torna-se, desse modo, possível prever o comportamento específico de determinado sistema, prever os cenários possíveis de caudal e volumes de precipitação, com respectivo risco associado (Merril & Butler, 1994). Admite-se, por fim, que é possível prever eventos futuros através da padronização das ocorrências previamente registadas.

Com base nos pressupostos apresentados, surge o modelo API (*Antecedent Precipitation Index*) com capacidade para relacionar a ocorrência de infiltração directa com diversos cenários de precipitação. Tendo como base uma extensa série de valores de caudal, é possível estimar, com um certo intervalo de confiança, os valores de caudal infiltrado (Ali *et al.*, 2010; Merrill & Butler, 1994). Admite-se, ainda, que o padrão passado se reproduzirá novamente no futuro (Merril & Butler, 1994).

O modelo API fundamenta-se no pressuposto que a ocorrência de precipitação majora a parcela infiltrada, visto que a humidade dos solos é aumentada, função do incremento de água no solo. Neste modelo, a infiltração é definida pela soma de diversas parcelas de caudal excedentário, provocadas pela precipitação antecedente (Ali *et al.*, 2010; Merrill & Butler, 1994). A água residual é a soma das diversas componentes infiltradas continuamente ao longo do tempo, adicionadas ao caudal doméstico (e/ou industrial) (Merril & Butler, 1994).

O método API faculta a avaliação e comparação entre sistemas de saneamento distintos, quer previamente, quer após a sua reabilitação, quando os dados reais de precipitação e de caudal não se encontram disponíveis (Ali *et al.*, 2010; Merrill & Butler, 1994).

A correspondente expressão matemática é a seguinte (Ali *et al.*, 2010):

$$API = \sum_{i=-1}^{-i} P_t \times k$$

Na qual:

- i corresponde ao número de dias antecedentes;
- k representa uma constante de decaimento em função do tipo de solo, variando entre 0,8 e 0,98;
- P_t simboliza a precipitação durante o dia t

Devido à sua implícita subjectividade, a aplicação do índice API é frequentemente substituída pela utilização do índice NAPI (*Net Antecedent Precipitation Index*), que se rege pelos mesmos pressupostos do índice API. Contudo, o índice NAPI possui normalização de componentes, o que permite, não só a inclusão da precipitação ocorrida anteriormente no dia do início da ocorrência do fenómeno pluviométrico, mas também a normalização referente à estação do ano na qual este se insere e a normalização da extensão de séries de dados antecedentes (Ali *et al.*, 2010).

A formulação matemática que define o índice NAPI é dada pela seguinte (Ali *et al.*, 2010):

$$NAPI = \frac{\sum_{i=0}^{-i} P_t \times k^{-1}}{\bar{P} \times \sum_{i=0}^{-i} k^{-1}}$$

Na qual se acrescenta que \bar{P} corresponde à média pluviométrica dos dias antecedentes.

3.8.2 Infiltração total – Método da separação hidrográfica e método do triângulo

De modo a determinar a infiltração total numa rede de drenagem, uma das técnicas mais utilizadas consiste no Método da Separação Hidrográfica, que se caracteriza pela análise de hidrogramas de cheia. Genericamente, pode ser dividido nas seguintes etapas (Staufer *et al.*, 2012):

- 1) Subtracção das parcelas de volume total de água residual e volume de água infiltrada ao hidrograma inicial, com o objectivo de se obter a percentagem de água que se infiltra devido à ocorrência de eventos pluviométricos;
- 2) Diferenciação entre a parcela indirecta da infiltração (que se regista, habitualmente, durante os períodos secos) e a parcela directa da infiltração (resultante de eventos de precipitação e consequente escoamento);
- 3) Avaliar a sazonalidade da zona em estudo, de modo a aferir a variação e distribuição de caudal, em tempo seco e, desse modo, estabelecer tendências de afluências de água residual doméstica à rede de drenagem;
- 4) Avaliação de fenómenos pluviométricos associados à formação de “picos” no hidrograma. Consideram-se fenómenos pluviométricos independentes se o espaço temporal entre si for igual ou superior a quatro horas.

A aplicação destas técnicas é, contudo, algo aleatória. Existem diversas técnicas e critérios que permitem detectar e identificar as parcelas de caudal. Os dados de precipitação e escoamento disponíveis, bem como o nível de rigor pretendido, influenciam a escolha de um método que prevalece em relação a seus pares (Almeida & Monteiro, 2004).

O Método do Triângulo surge como exemplo de uma metodologia usada para contabilizar as diferentes parcelas de caudal que afluem às ETAR. Implica o registo diário dos caudais afluentes, num período mínimo de um ano, com a finalidade de se obter uma série de dados de caudal diário total que aflui à estação de tratamento. Através da obtenção dessa série, é possível construir um gráfico que, no eixo das abcissas, corresponde ao caudal diário em percentagem do valor máximo, observado nessa amostra; no eixo das ordenadas apresenta-se a percentagem temporal utilizada nessa amostra. Através dessa conjugação de dados, obtém-se uma curva de caudais organizados por ordem crescente em percentagem do máximo registado, caracterizando-se pela sua forma sinusoidal (Almeida & Monteiro, 2004).

Os pressupostos na aplicação deste método são a constância do consumo doméstico, correspondendo à área que se situa abaixo da linha característica do caudal de origem

doméstica. O volume de infiltração, por sua vez, equivale a toda a área entre o que é correspondente ao caudal doméstico e o afluente à ETAR para tratamento (Almeida & Monteiro, 2004).

A aplicação do método do triângulo permite proceder a uma separação entre a componente da infiltração relativa às águas pluviais. Esta diferenciação baseia-se no pressuposto que a componente relativa à infiltração que ocorre por intermédio de fenómenos pluviométricos atinge o seu pico logo após períodos de intensa precipitação, altura na qual as infiltrações indirectas assumem um valor inferior, por se considerar a existência de fenómenos de exfiltração (Almeida & Monteiro, 2004).

A Figura 3.2 apresenta o método do triângulo obtido na ETAR de Mirandela, num período de 340 dias (Amorim, 2007).

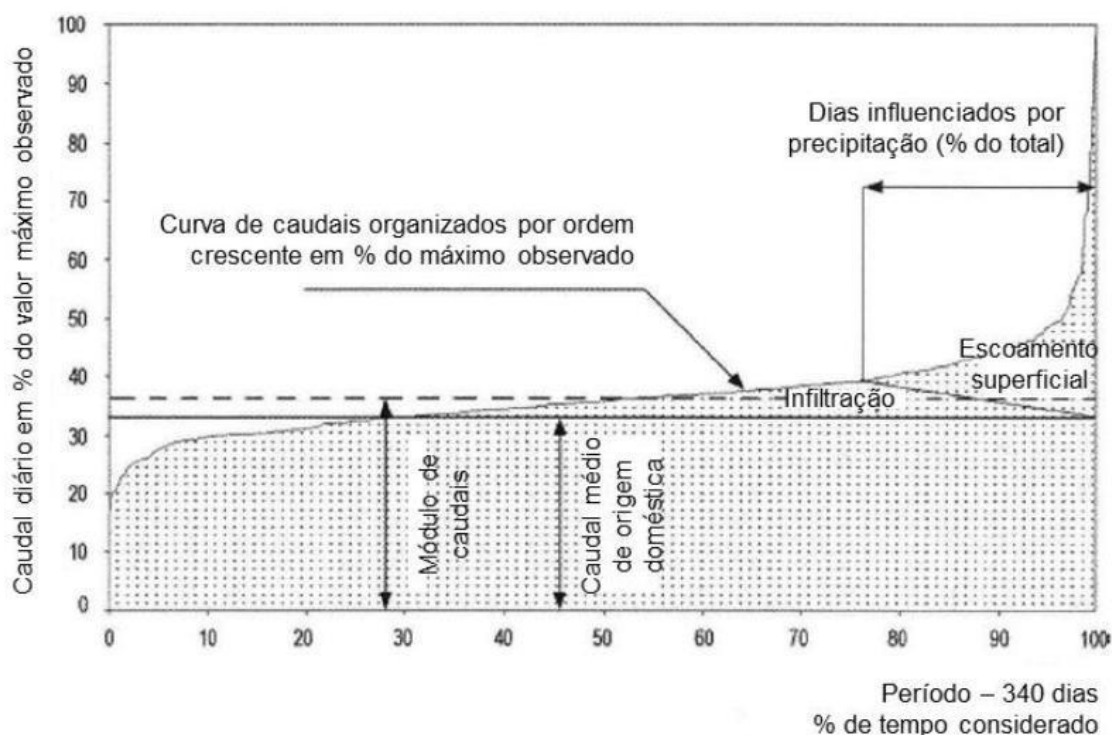


Figura 3.2 – Exemplo de aplicação do método do triângulo para a separação das parcelas de água residual, infiltração e escoamento superficial na ETAR de Mirandela (FONTE: Amorim, 2007)

3.9 Projecto APUSS

Os sistemas de drenagem de águas residuais urbanas constituem um importante património para as cidades, pelo que se torna importante a sua preservação, criando medidas que garantam o seu funcionamento estrutural ao longo de um alargado ciclo de vida (Coelho, 2013).

As infiltrações surgem como uma das principais ameaças ao bom estado das redes de drenagem, devido ao efeito “bola de neve” (ver secção 3.4.2.) que infligem sobre as mesmas.

As exfiltrações causadas pelo incremento de caudal contaminam o solo envolvente, com graves problemas de cariz ambiental e de saúde pública (Cardoso *et al.*, 2006).

O Projecto APUSS (*Assessment Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems*), cujo financiamento provém da Comissão Europeia, decorreu entre os anos de 2001 e 2004 no âmbito do 5º Programa de Investigação e Desenvolvimento, responsável pela associação entre pequenas e médias empresas (coloquialmente denominadas PME's) e municípios de sete países, no qual Portugal se inclui. Os fenómenos de infiltração e de exfiltração foram os principais focos no que, genericamente, foi denominado de "Área de Trabalho 1" (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005).

Os principais objectivos do programa consistem em (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005; Ellis & Bertrand-Krajewski, 2010):

- Desenvolver e testar novos modelos de quantificação e controlo de infiltrações, nomeadamente o Modelo dos Isótopos Naturais e o Método das Séries Temporais Poluentes;
- Desenvolver métodos volumétricos para avaliar as ligações domiciliárias;
- Avaliar os efeitos e interações do comportamento dos sedimentos nos esgotos;
- Implementar *software* específico, permitindo a calibração e validação dos métodos de análise propostos através de registos observados em cidades modelo, auxiliando o processo decisório, bem como a gestão e manutenção da rede;
- Integrar métodos económicos analíticos que permitam diferenciar e analisar a *performance* económico-financeira da rede, através da criação de indicadores de desempenho, numa perspectiva multicritério de investimento e reabilitação da rede.

O desenvolvimento de métodos de preservação de redes de drenagem inclui o aperfeiçoamento processual, teste e respectiva validação para proceder o estudo e quantificação de fenómenos de exfiltração nos troços de colector, infiltração e exfiltração nos sistemas de drenagem e infiltração e exfiltração em redes domésticas (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005).

É consensual que a determinação de volumes infiltrados e exfiltrados se baseia em métodos de discutível precisão, como são a análise da variação diária de caudal e o seu respectivo balanço hídrico. No entanto, nos locais mais críticos, o isolamento da rede apenas se torna viável caso a sua extensão seja curta, de modo a não perturbar o correcto funcionamento da rede (Bertrand-Krajewski *et al.*, 2005).

Nesse sentido, são definidos, ao longo do Programa APUSS, o Método dos Isótopos Naturais e o Método das Séries Temporais Poluentes. Apesar do seu processo ser similar, estas metodologias diferem no rasto utilizado, seja este natural ou artificial, no tipo de investigação a que estão associados e permitem de forma mais concreta identificar os troços mais críticos de

um colector, com respectivo risco ambiental mínimo associado (Ellis & Bertrand-Krajewski, 2010).

A aplicação destas metodologias difere consoante a tipologia da rede de drenagem, bem como do nível de ocorrências críticas a que esta está sujeita. De facto, a infiltração não ocorre de modo constante ao longo de toda a rede, mas sim em troços mais problemáticos, pelo que a sua avaliação e análise deve ser cuidada e tratada correctamente.

3.9.1 Método dos isótopos naturais

O Método dos Isótopos Naturais é um processo economicamente acessível e de simples aplicação. Consiste na comparação entre a água de abastecimento e a água de infiltração, aproveitando as características isotópicas naturais dos átomos de oxigénio ou de hidrogénio presentes na molécula da água. A utilização dos isótopos destes elementos permite que estes funcionem como marcadores no cálculo dos rácios de infiltração. De acordo com Cardoso *et al.* (2006) e Rodrigues (2013), este procedimento é restrito aos isótopos ^{18}O e ^{16}O do átomo de oxigénio, não existindo conhecimento, até à data, de nenhum trabalho que considere a utilização dos isótopos de hidrogénio como traçador.

A utilização dos isótopos ^{18}O e ^{16}O deve-se à razão entre estes, denominada por $\Delta^{18}\text{O}$, cuja determinação está dependente do parâmetro padrão de referência para a água, parametrizado pelo SMOW (*Standard Mean Oceanic Water*) (Karpf & Hoeft, 2005).

A utilização de determinado isótopo está relacionada com a frequência com que ocorre naturalmente. A sua abundância depende de factores como as características dos eventos de precipitação, nomeadamente altitude, latitude e distância ao oceano. O ciclo de evaporação e/ou condensação ou a ocorrência de trocas ao nível mineral são outros parâmetros que influenciam a existência de isótopos (De Bénédictis & Bertrand-Krajewski, 2004).

A utilização de isótopos é, no entanto, limitada. A possibilidade de estudar apenas duas origens distintas, assim como a necessidade da homogeneidade entre características isotópicas são limitativas da aplicação desta metodologia. Para fazer face a esses obstáculos, são frequentemente utilizados isótopos distintos para água infiltrada e para água de abastecimento. Nesta utilização, considera-se o pressuposto que a água infiltrada se restringe a aflúncias subterrâneas, acima do nível freático do terreno, e a água da rede de abastecimento corresponde à água residual doméstica considerando, claramente, a relação directa entre o consumo de água de abastecimento e a produção de efluentes domésticos (De Bénédictis & Bertrand-Krajewski, 2004).

De modo a aproveitar o traçador e o balizamento de duas fontes desiguais, é exequível, com base no hidrograma diário de caudal, exibir uma tendência de proporcionalidade destas duas componentes, tal como ilustra a Figura 3.3.

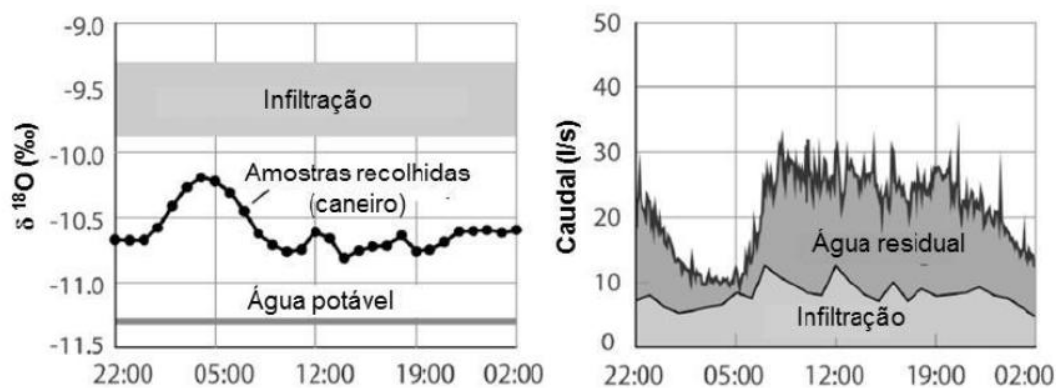


Figura 3.3 – Caracterização isotópica e decomposição do hidrograma diário nas suas componentes básicas (FONTE: Rodrigues, 2013)

Com base na análise de vários trabalhos realizados neste âmbito, o principal erro deste método prende-se com a estimativa da taxa de infiltração, fixada em 5%. Apesar disso, a análise dos resultados obtidos permite concluir que este procedimento de avaliação de infiltração é relativamente preciso, não obstante acarretar um elevado número de simplificações e limitações ao nível da origem de outras águas parasitas (Bonito, 2014).

3.9.2 Método das séries temporais poluentes

A “Série Temporal Poluente” permite estimar a infiltração de uma série separativa, recorrendo à análise da concentração de poluentes nas descargas de água residual, de modo a quantificar as afluências indevidas. A variação da concentração de poluentes presentes nas descargas realizadas é demonstrada através do recurso a hidrogramas diários.

Através do balanço de massa gerado pela flutuação nas concentrações de poluentes, permite-se que seja calculada a taxa de infiltração com base em modelos ajustados diariamente para os parâmetros de caudal e carência química de oxigénio (CQO), poluente padronizado como principal marcador. A utilização da CQO como parâmetro traçador primário deve-se à facilidade e à frequência com que esta é monitorizada e estudada no âmbito do sector das águas residuais. A aplicação desta metodologia requer o conhecimento de hidrogramas diários e representações gráficas semelhantes que demonstrem a variação na concentração de poluentes (Cardoso *et al.*, 2006).

Existem três etapas a completar, visando a execução do método das séries temporais de cargas poluentes (Cardoso *et al.*, 2006):

- Medição simultânea e contínua do caudal e da CQO na secção a analisar. Requer equipamento adequado e, acima de tudo, elevada fiabilidade nas medições;
- Análise das séries temporais obtidas e posteriores representações gráficas semelhantes;

- Construção do modelo matemático *AquaBase*, ajustado à representação gráfica, que sirva de padrão relativamente à sua aplicação numa dada secção e que vise a estimativa do caudal infiltrado.

Após a obtenção do modelo matemático, é possível determinar o caudal infiltrado por intermédio do balanço de massa. A Figura 3.4 demonstra um exemplo de aplicação desta metodologia numa ETAR (à esquerda) e numa secção da rede de drenagem de águas residuais (à direita).

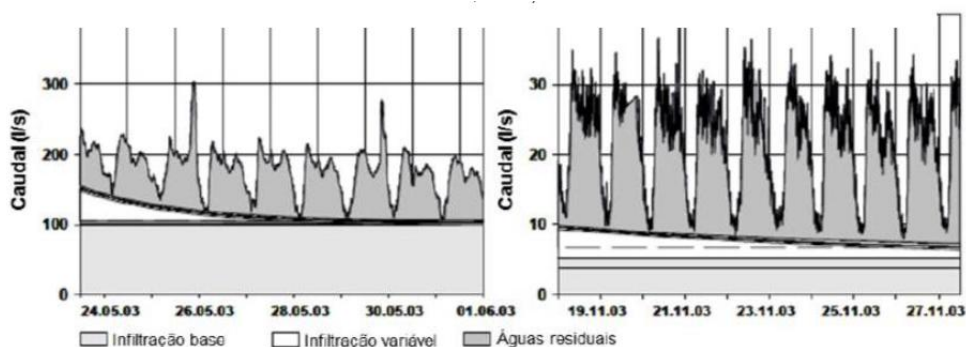


Figura 3.4 – Separação dos hidrogramas obtidos em duas bacias de drenagem na Suíça (adaptado de Kracht *et al.*, 2007)

Verifica-se a similaridade entre ambos os casos, sendo que o ponto de discórdia surge na componente da infiltração base (infiltração indirecta) e na maior preponderância no caso da ETAR. De assinalar ainda o caudal mínimo nocturno, no qual o escoamento se deve maioritariamente às afluências indevidas que, mesmo sem a ocorrência de precipitação, se demonstram presentes.

Posteriormente, os municípios e operadores decidem, com base na análise de estratégias de investimento, meios que permitam melhorar a eficiência e a qualidade do seu serviço: Nesse âmbito destacam-se a avaliação do custo da estrutura dos sistemas de águas residuais, bem como os custos associados à aplicação de novas metodologias; a análise de um conjunto de indicadores específicos para a quantificação de infiltrações e consequentes exfiltrações e o estabelecimento de uma metodologia genérica para definição de estratégias de investimento (Cardoso *et al.*, 2006).

A standardização de um modelo executável em qualquer situação revela-se pouco aconselhável, tendo em conta o cariz variável que define o sector do saneamento e visto que diferentes países tendem também a possuir formas diferentes de organização (Coelho, 2013).

O projecto APUSS distingue seis tópicos base de aplicabilidade corrente, para o estudo do *benchmarking*: material, salário, custos operacionais, deposição de resíduos, depreciação e juros. A avaliação concreta destes parâmetros permite a definição do período de amortização como um aspecto fundamental ao processo de decisão. É, no entanto, aconselhada uma

individualização no estudo de cada caso de aplicação, devido à variabilidade dos projectos e, consequentemente, das condicionantes que limitam e definem os recursos para cada entidade gestora

3.10 Modelos de simulação

Os modelos computacionais surgem, com cada vez maior frequência, como ferramentas auxiliares ao processo de tomada de decisão na engenharia sanitária, sobretudo em fase de projecto. Assim, como o abastecimento de água tem no EPANET o seu modelo *opensource* mais utilizado e comprovadamente bem-sucedido, a drenagem de águas residuais vê no SWMM (*Stormwater Management Model*) a sua ferramenta equivalente para simular e estimar valores de caudal da rede de drenagem analisada (Rodrigues, 2013).

Todavia, a utilização de modelos não é consensual de modo a que seja possível simular a entrada de infiltração em sistemas de águas residuais de tipo separativo. A sua variabilidade temporal e quantitativa, bem como a diversidade associada às suas origens, impossibilita a criação de uma metodologia computacional que combine correctamente todas estas variáveis aleatórias (Karpf & Krebs, 2011).

A utilização do programa SWMM requer um elevado grau de detalhe da rede, assim como uma série alargada de registos cronológicos. Este *software* contabiliza o caudal infiltrado através da padronização de registos obtidos na rede, em função de um determinado valor registado de precipitação. Pode ser comparado ao executado pelo EPANET com os coeficientes horários de consumo (Gustaffson, 2000).

Para além do SWMM, existem modelos mais específicos que incidem igualmente sobre a temática das afluências indevidas. Nestes modelos, é comum a contabilização da infiltração directa, assim como no SWMM. No que se refere à contribuição associada infiltração indirecta, ocorre uma simulação, com as devidas adaptações, semelhante aos processos de escoamento em cursos de água naturais. Desse modo, a dinâmica de infiltração de água subterrânea em sistemas de drenagem de águas residuais domésticas ocorre de igual modo à interacção entre rios e aquíferos, através de armazenamento e retenção de água no solo ou de leis físicas unidimensionais, como a lei de Darcy (Gustaffson, 2000)

Os modelos de merecida menção são o MIKE SHE da DHI, o URBS e o MODFLOW. No entanto, nenhum se encontra num patamar de fiabilidade suficiente para padronizar a sua utilização sem as respectivas reservas (Karpf & Krebs, 2011).

3.11 Indicadores de desempenho

3.11.1 Definição de indicadores de desempenho

Ao longo desta dissertação, tem sido apontada a negligência relativamente às infiltrações em sistemas urbanos de drenagem de águas residuais como um dos principais pontos que conduz à sua deterioração. Actualmente, impera uma tomada de posição para fazer face ao a esta

problemática, já que a maturação dos sistemas permitiu não só a consciencialização da gravidade que a ocorrência de aflúências indevidas tem para um sistema, como vários estudos debruçam o seu foco na tentativa de fazer face à questão, nomeadamente através da utilização de critérios numéricos que permitam avaliar o rendimento de um sistema de drenagem: indicadores de desempenho. Estes compreendem (Cardoso *et al.*, 2002):

- Avaliação da condição estrutural do sistema;
- Previsão de aplicações financeiras que permitam a manutenção do nível do sistema de saneamento sem influenciar a sua qualidade;
- Avaliação de desempenho de projectos de reabilitação, bem como o seu benefício futuro.

Os indicadores de desempenho são utilizados de modo a permitir a agregação de informação relevante, resultante da modelação e análise de resultados, relativa a uma dada característica e traduzindo as observações em valores que permitam aferir a *performance* das redes de drenagem (Cardoso *et al.*, 2002).

Como anteriormente referido, a ausência de dados credíveis obrigou ao estabelecimento de uma norma regulamentar, de modo a permitir efectuar uma estimativa com base no diâmetro e extensão da rede a montante. Contudo, a corrente legislação em Portugal não é clara sobre esse aspecto, tendo sido realizados estudos levados a cabo no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), no âmbito do projecto APUSS, com o intuito de compreender a dinâmica das infiltrações em redes urbanas (Cardoso *et al.*, 2002).

Os estudos conduzidos no LNEC permitiram concluir que, para diâmetros de menor dimensão, o volume ocupado seria maior do que numa rede de diâmetro de dimensões superiores, aumentando a probabilidade do sistema entrar em carga (Cardoso *et al.*, 2002).

A monitorização e inspecção periódicas assumem um carácter obrigatório, de modo a prevenir o alastramento de roturas de pequena dimensão, cujo agravamento possa afectar negativamente o desempenho futuro da rede (Cardoso *et al.*, 2002).

3.11.2 Indicadores de desempenho: algumas propostas sugeridas pelo LNEC

A análise de desempenho de um sistema de drenagem de águas residuais circunscreve vários aspectos, nem todos de natureza semelhante, o que dificulta o processo avaliativo do próprio sistema. A complexidade associada à influência de infiltrações nas redes de drenagem urbanas levou à universalidade de metodologias, passíveis de comparar, na mesma escala, o desempenho de redes existentes e identificar os pontos mais críticos, a serem alvo de futura prevenção (Moura, 2004).

A quantificação da magnitude dos volumes de infiltrações, seja com o intuito de avaliar a sua relevância num determinado sistema, seja para estimar o efeito de intervenções mitigadoras deste problema, deve ser feito recorrendo a um conjunto de indicadores de desempenho. Estes

permitem quantificar objectivamente os caudais de infiltração e admitem a comparação entre diferentes sistemas, contabilizando todos os factores que influenciam a presença de afluições indevidas no sistema de drenagem de águas residuais a ser alvo de estudo (CARDOSO *et al.*, 2002).

O LNEC sugere, em “Avaliação do Impacto da Infiltração no desempenho de sistemas de drenagem urbana”, uma série de indicadores de desempenho que permitem avaliar o desempenho de redes separativas domésticas (CARDOSO *et al.*, 2002; CARDOSO *et al.*, 2006):

- *“Utilização da capacidade da secção cheia: esta medida indica qual é a percentagem do caudal de infiltração relativamente ao valor do caudal de secção cheia do colector, que representa a sua capacidade. Permite avaliar a percentagem da capacidade do colector que é utilizada em consequência da ocorrência de infiltração. Este indicador não entra em conta com nenhuma das origens passíveis da infiltração acima referidas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num colector), sectorialmente (num sistema) ou globalmente (no colector de jusante do sistema). Neste caso é necessário conhecer a capacidade do colector a avaliar, o que não apresenta dificuldade uma vez conhecida a topologia, a geometria e o material do colector em análise. Este indicador fornece informação sobre o desempenho hidráulico, dando um valor relativo à capacidade do colector em análise mas não traduzindo qualquer informação sobre a quantidade absoluta de infiltração ocorrida. Por exemplo, ao longo de um troço de rede, com três colectores sucessivos de capacidade crescente, o valor absoluto da infiltração mantinha-se, não havendo acréscimo de infiltração ao longo de todo o troço. Este indicador tomava os valores de 60%, 30% e 10% em cada colector de montante para jusante, significando que a capacidade de cada colector era ocupada naquela percentagem (ver expressão seguinte), respectivamente, o por caudal de infiltração. No entanto, o valor real da infiltração era o mesmo nos três colectores.”*

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{sc}}(\%)$$

Para a qual:

- Q_{inf} simboliza o caudal infiltrado (m^3/s);
- Q_{sc} representa o caudal de secção cheia do colector (m^3/s).
- *“Proporção do caudal de tempo seco: esta medida indica qual é a percentagem do caudal de infiltração relativamente ao valor do caudal médio diário de tempo seco. Permite comparar o peso da contribuição do caudal de infiltração relativamente ao do caudal médio diário de tempo seco no caudal que é transportado pelo sistema. No entanto, este indicador não entra em conta com nenhuma das origens passíveis da*

infiltração acima referidas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num colector), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no colector de jusante do sistema). Neste caso é necessário conhecer o caudal médio de tempo seco escoado pelo colector a avaliar, dado obtido através de medições ou por estimativa. Este indicador tem o inconveniente de ser dependente da influência do caudal médio diário de tempo seco. Por exemplo, num troço de colector de 1 km com 1000 mm de diâmetro, um caudal de infiltração de 50 m³/dia é considerado um valor baixo segundo o Decreto Regulamentar 23/95 e corresponderia a 0,5% num sistema que transportasse um caudal médio diário de tempo seco de 8640 m³/dia e a 1,2% noutro sistema que transportasse um caudal médio diário de tempo seco de 4320 m³/dia. Este indicador, se aplicado ao caudal que chega à estação de tratamento, permite dar informação sobre o peso que o caudal de infiltração pode ter nos gastos do tratamento. Neste caso, além de ser usado em termos de volume pode ser aplicado em termos de percentagem de custos.”

$$\frac{Q_{inf}}{Q_{sc}} (\%)$$

Para a qual:

- Q_{inf} simboliza o caudal infiltrado (m³/s);
- Q_{sc} representa o caudal de secção cheia do colector (m³/s).

- “Caudal unitário por câmara de visita: esta medida indica o caudal médio de infiltração por câmara de visita. Como foi anteriormente referido, as câmaras de visita são possíveis origens de infiltração. Assim, para avaliar a influência do numero de câmaras de visita no caudal de infiltração, este valor deve ser determinado em troços de igual comprimento, de forma a que a influência do comprimento do colector ou outra origem de infiltração, não se sobreponha com a das câmaras de visita. No entanto., este indicador não entra em conta com a influência da infiltração ao longo do colector, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido, sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no colector de jusante do sistema). Neste caso, é necessário conhecer o número de caixas de visita que contribuem para a avaliação em causa, o que pode condicionar a aplicação deste indicador. Em sistemas onde a origem da infiltração ocorra com predominância nas câmaras de visita, este pode ser um indicador importante para avaliar os benefícios de reabilitação.”

$$\frac{Q_{inf}}{n} (m^3/s)$$

Para a qual:

- Q_{inf} simboliza o caudal infiltrado (m^3/s);
 - n representa o número de câmaras de visita.
-
- *“Caudal unitário por comprimento do colector: esta medida indica o caudal médio de infiltração que ocorre por km de comprimento do colector. Este indicador não tem em conta a influência da infiltração nas câmaras de visita, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num colector), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no colector de jusante do sistema). Neste caso, é necessário conhecer o comprimento total dos colectores que contribuem para a avaliação em causa, o que pode condicionar a aplicação deste indicador; no entanto, em sistemas onde a infiltração ocorra predominantemente ao longo do colector pode ser um indicador importante para avaliar os benefícios de reabilitação.”*

$$\frac{Q_{inf}}{L_{colector}} (m^3/s.km)$$

Para a qual:

- Q_{inf} simboliza o caudal infiltrado (m^3/s);
 - $L_{colector}$ representa o comprimento do colector (km).
-
- *“Caudal unitário por área de parede do colector: esta medida indica o caudal médio de infiltração em função da área de parede do colector exposta a possíveis infiltrações. Este indicador não entra em conta com a influência da infiltração nas câmaras de visita, nem nas ligações domésticas. Este valor pode ser obtido elementarmente (num colector), sectorialmente (num subsistema) ou globalmente (no colector de jusante do sistema). Neste caso é necessário conhecer o valor total da área longitudinal dos colectores que contribuem para a avaliação em causa, o que pode condicionar a aplicação deste indicador; no entanto, em sistemas onde a infiltração ocorra predominantemente ao longo do colector, pode ser um indicador importante para avaliar os benefícios de reabilitação.”*

$$\frac{Q_{inf}}{L_{colector} \times P} (m^3/s.(cm.km))$$

Para a qual:

- Q_{inf} simboliza o caudal infiltrado (m^3/s);
- $L_{colector}$ representa o comprimento do colector (km);
- P corresponde à altura da parede do colector (cm).

O uso dos indicadores supracitados pressupõe uma correcta avaliação da sua fiabilidade, procurando a maior semelhança possível com o que realmente ocorre. Contudo, estes indicadores são apenas instrumentos complementares, sendo que a representação fidedigna do sistema pode não ser alcançada (Cardoso *et al.*, 2002; Cardoso *et al.*, 2006). É recomendável a discussão exaustiva dos resultados obtidos, procedendo, se possível a uma comparação com casos previamente estudados.

A utilização destes parâmetros pode auxiliar os processos de decisão das entidades gestoras, na eventualidade de serem conduzidas reparações na rede. Não obstante a complexidade inerente à obtenção do conjunto de dados necessários a um correcto processo decisório, o autor sugere, ainda, uma análise multicritério, de modo a eliminar todas as contrariedades e dúvidas que possam surgir com a aplicação unitária desta metodologia. A análise levada a cabo pelas entidades gestoras permitirá optar pelo indicador mais apropriado, função das características de cada sistema, bem como da informação disponível. O autor sugere, ainda, que cada indicador pode disponibilizar informação adicional sobre o sistema, pelo que se recomenda acautelar os objectivos que se pretendem avaliar (Cardoso *et al.*, 2002; Cardoso *et al.*, 2006).

3.12 Custos associados à ocorrência de infiltrações

A concepção de um sistema de drenagem de águas residuais completamente estanque é, até hoje, uma “utopia”. De facto, nenhum sistema provou ser imune a infiltrações pelo que, apesar de se tratar de um fenómeno indesejado, a ocorrência de afluências indevidas deve ser sempre considerada, particularmente na fase de projecto. Contudo, não é fácil a tarefa de prever o grau de ocorrência de infiltrações na rede de drenagem. Embora a experiência de diversas situações actue como um alerta para previsões futuras, não é possível garantir a perfeita execução de todos os processos, nem será possível admitir todos os cenários possíveis aquando o dimensionamento de um sistema de drenagem (Amorim, 2007).

Posto isto, a afluência de caudais excedentários às redes de drenagem deve ser encarada como sendo inevitável, assim como a aplicação de custos para remediar os seus efeitos indesejáveis. Para se obter uma estimativa do investimento a realizar, devem ser executados estudos que conduzam à optimização processual, no sentido de minorar os encargos da entidade gestora (Amorim, 2007).

Nesse sentido, a quantificação do volume correspondente a cada parcela de infiltração, directa e indirecta, assume elevada importância, uma vez que a cada uma corresponde um plano de acção distinto. Essa quantificação facilita a análise financeira associada aos custos na diminuição dos efeitos da infiltração (Amorim, 2007).

Apesar de se verificar uma clara relação causal, o balanço financeiro assume peso superior em detrimento do balanço hídrico, aquando a busca de soluções sustentáveis na resolução dos problemas associados à ocorrência de afluências indevidas. Nessa perspectiva económica, os

principais custos associados à ocorrência de infiltrações directas e/ou indirectas podem ser divididos em custos de investimento (ou capital), custos de operação e manutenção.

Existem, ainda, outros custos, como a mão-de-obra ou as despesas relacionadas com equipamento, que podem ser agregados no custo de vida útil da rede, facto a considerar aquando do dimensionamento do projecto. No entanto, não dependem directamente do fenómeno em estudo.

De facto, esta temática foi amplamente discutida no projecto anteriormente descrito como *The Great Dublin Strategic Drainage Study* de acordo com o que é apresentado na Figura 3.5.

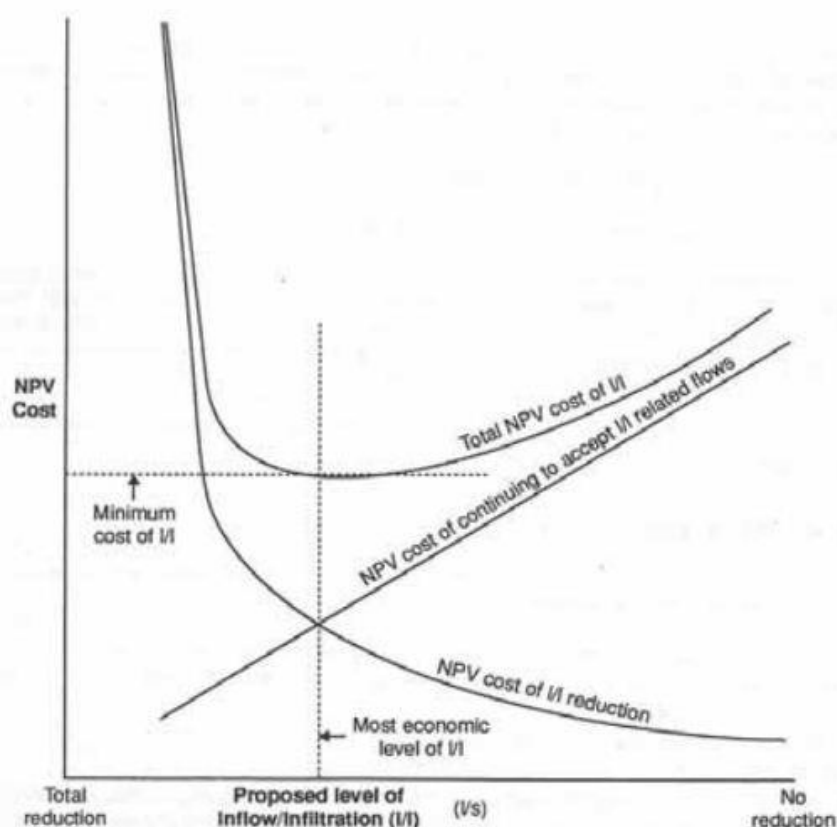


Figura 3.5 – Otimização de custos segundo *The Great Dublin Strategic Drainage Study* (adaptado de Hyder, 2005)

De notar que a sigla *NPV* significa *Net Present Value*, ou seja, o valor da rede até à data.

3.12.1 Custos de investimento

Nos custos de investimento, incluem-se os encargos monetários iniciais para prevenir a ocorrência de infiltrações nas infraestruturas de drenagem. Neste sentido, a etapa inicial passa por tentar aproximar, o mais possível da realidade, a quantidade de caudal excedentário que afluirá às redes de colectores durante a sua vida útil.

A determinação dos caudais de infiltração não é directa, dependendo de ajudas externas para a sua determinação, como o recurso a ensaios laboratoriais, modelos e medições *in situ*. Sendo assim, destacam-se:

- Estudos e investigação
- Modelação das redes de drenagem;
- Detecção das fontes de infiltração, através de elementos vídeo e vistorias aos elementos menos estanques da rede, como as caixas de visita;
- Elaboração de vistorias no sentido de detectar ligações pluviais indevidas;
- Substituição das redes de drenagem.

A tomada de medidas supracitadas não é limitativa da determinação de uma estratégia bem clara e precisa para a minimização dos custos totais. A análise deverá ser realizada quer antes, quer posteriormente à intervenção, no caso de se proceder a uma reparação, renovação ou semelhantes, com o intuito de assegurar a melhoria da *performance* do sistema de drenagem. No final, os resultados podem ser expressos sob a forma de percentagem de infiltração removida, ou em níveis absolutos de infiltração.

3.12.2 Custos de operação e manutenção

Incluem-se nos custos de operação quaisquer encargos financeiros associados ao desempenho de actividades regulares da rede, dos quais se destacam:

- Custos de bombagem;
- Energia consumida;
- Custos de operação de tratamento dos efluentes, entre outros.

Estes custos devem sempre ser considerados na elaboração de uma estimativa viável de custos de operação de uma rede de drenagem, na medida em que as melhorias conferidas ao sistema são indispensáveis para a manutenção do seu bom funcionamento.

Os custos de manutenção abarcam todas as obrigações monetárias inerentes ao desempenho de todas as actividades de reparação, substituição e renovação numa rede de saneamento, englobando desde os materiais ao aluguer de equipamento. Como se tratam de custos com um carácter aleatório, torna-se difícil a sua quantificação.

4 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

4.1 Introdução

A presente dissertação surge no âmbito da recomendação n.º 04/2007 do IRAR (actual ERSAR) (IRAR, 2007), que estabelece directrizes para o controlo de afluências indevidas aos sistemas de drenagem, bem como para optimização das tarifas a aplicar ao consumidor final pelo saneamento de águas residuais urbanas.

Perante esta recomendação, a SIMARSUL optou por proceder a uma análise ao subsistema de Sesimbra, devido aos problemas de escoamento de caudal aquando da ocorrência de eventos pluviométricos. Este subsistema, gerido pela SIMARSUL, tem determinadas particularidades que conduzem à escolha do mesmo para efectuar uma análise da influência de ocorrência de infiltrações na rede em causa. Destacam-se:

- Dimensão reduzida da bacia de drenagem;
- Contribuição de apenas um município para a bacia de drenagem em estudo;
- Existência de um modelo hidráulico para parte da rede em “baixa”;
- Maioria da rede em “alta” funciona em pressão (nomeadamente gravítica), pelo que eventuais contributos pluviais se focam na rede em “baixa”;
- Inexistência de contributos significativos de afluência de maré, apesar da proximidade com o mar.

O subsistema de Sesimbra possui, até à data, um conjunto de medidas implementadas, que permitem maior flexibilidade e segurança com os destinos indesejados de volumes excedentários. Isso acontece, nomeadamente, na estação elevatória da Fortaleza durante o Inverno, período no qual a probabilidade de ocorrência de eventos de precipitação intensa é maior, sendo possível fechar uma comporta que recebe um colector pluvial; também na zona de montante da bacia é possível encerrar pontos de recolha, sempre que há previsão de eventos de precipitação intensa.

4.2 Sesimbra

A vila de Sesimbra insere-se no distrito de Setúbal, região da Estremadura (NUTS II) e sub-região da Península de Setúbal (NUTS III). É delimitada, a norte, pelos municípios de Almada e Seixal; a nordeste pelo concelho do Barreiro; a leste por Setúbal e, quer a sul, quer a oeste, pelo oceano Atlântico.

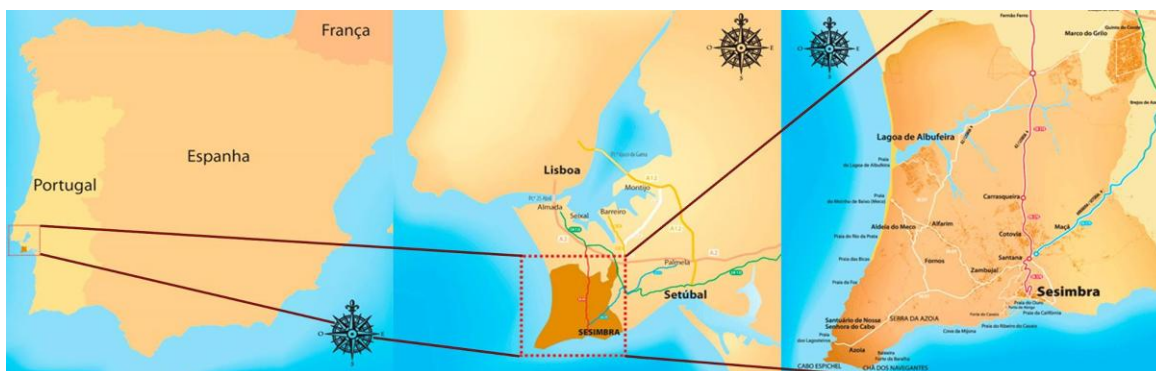


Figura 4.1 – Contextualização geográfica do concelho de Sesimbra (www.cm-sesimbra.pt)

É a sede de um município com uma área total de 194,98 km², subdivididos em três freguesias: Castelo, Quinta do Conde e Santiago, sendo nesta última que se localiza a sede do concelho. De acordo com os censos de 2011, a população do concelho de Sesimbra era de 48.506 habitantes. O Quadro 4.1 enumera, separadamente, a distribuição da população das três freguesias que compõem o município de Sesimbra:

Quadro 4.1 – Resumo de indicadores demográficos do concelho de Sesimbra

Freguesia	População (habitantes)	Área (km ²)	Densidade populacional (hab/km ²)
Castelo	18 172	178,77	101,65
Quinta do Conde	25 549	14,22	1 796,69
Santiago	4 785	1,99	2 404,52
TOTAL	48 506	194,98	248,77

Em termos de evolução demográfica, Sesimbra insere-se na média nacional no que se refere a essa evolução. Sendo um município situado no litoral, verifica-se que, desde 1960, a sua população tem vindo a aumentar, sendo esse crescimento demográfico influenciado pela transição da população dos meios rurais para os meios urbanos. No Quadro 4.2 é possível verificar a evolução da população no concelho de Sesimbra, no período entre 1960 e 2011.

Quadro 4.2 – Evolução demográfica do concelho de Sesimbra entre os anos de 1960 e 2011 (FONTE: INE, 2011)

Ano	População (habitantes)
1960	16 837
1970	16 656
1980	23 103
1991	27 246
2001	36 839
2011	48 506

O concelho de Sesimbra tem uma componente de segunda habitação muito superior ao valor nacional, estimando-se que mais de 37% dos alojamentos de Sesimbra se destinam ao uso Sazonal (<http://www.cm-sesimbra.pt/planodeturismo/3/alojamento.html>). Importa ainda ter em consideração, que face à proximidade de Lisboa, as características de sazonalidade do concelho de Sesimbra não se resumem aos meses de verão, registando-se forte ocupação aos fins-de-semana e em épocas especiais, como, por exemplo, Ano Novo ou Carnaval.

4.2.1 Geomorfologia

Geologicamente, neste concelho é notória a presença dominante de dos solos areníticos, bem como terrenos argilo-siltosos carbonatados ricos em materiais evaporíticos (gesso, halite e salgema) que integram a formação geológica denominada “Formação de Dagorda”. Esta formação é típica de vales diapíricos existentes na Bacia Lusitaniana, próximo do litoral de Portugal. A presença de materiais evaporíticos no solo torna Sesimbra um local pouco propício à construção. (Santos, 2011).

Da zona costeira meridional da Península de Setúbal faz parte o litoral rochoso da Arrábida, que tem vertentes de considerável inclinação, assim como altitudes superiores a cem metros. No concelho de Sesimbra, é possível efectuar uma divisão com base na orografia característica de cada zona. Sendo um município com variados tipos de relevo, estes podem ser agregados em zonas de vale ou várzea, zonas de serra ou acidentadas e zonas planas.

Na zona de vale ou várzea, correspondente às terras baixas da Lagoa de Albufeira, vales da Apostiça, Brava, Ferraria, Aiana, Amieira, Lage e Torrões, a altitude máxima é de 50 metros, verificada na Ribeira da Pateira. Por outro lado, a altitude mínima registada é de 6 metros, ocorrendo nas margens da Lagoa de Albufeira².

No que respeita às zonas de serra ou acidentadas, definidas por uma faixa, elevada de forma relativamente estreita e paralela à costa sul, e que se estende desde a ponta do Cabo Espichel, a poente, até ao limite nascente do concelho, na serra da Arrábida, ocorrendo a sua altitude máxima no Píncaro (380 metros). Já a sua altitude mínima verifica-se nas praias arenosas do litoral².

Por fim, a zona plana diz respeito a toda a área restante do concelho. Eleva-se, suavemente, da costa de Alfarim para nascente, situando-se o ponto de cota máxima no Toguinho (limite a sul), a uma altura de 145 metros. A altitude mínima ocorre nas praias do litoral, à semelhança das zonas de serra ou acidentadas².

No Quadro 4.3 apresentam-se as áreas características de cada formação, considerando a sua o seu declive, bem como a relação com a área total do concelho.

²: Os pontos de cota máxima e mínima são disponibilizados pela Câmara Municipal de Sesimbra através do seu *website* www.cm-sesimbra.pt, visitado no dia 17 de Junho de 2015.

Quadro 4.3 – Caracterização orográfica do concelho de Sesimbra (www.cm-sesimbra.pt)

Zonas	Área (ha)	Percentagem
Vale ou Várzea	900	4,6%
Serra ou acidentada	5 504	28,2%
Plana	13 094	67,2%

A dinâmica litoral da zona meridional da Península de Setúbal é substancialmente diferente do que podemos observar na orla costeira ocidental. Este troço, abrigado pelo Cabo Espichel, encontra-se resguardado da agitação marítima directa, cujo rumo Norte-Oeste predomina ao longo de toda a costa ocidental portuguesa. No entanto, Sesimbra encontra-se exposta a essa mesma agitação marítima no rumo Sul-Oeste.

A região de Sesimbra é coloquialmente conhecida por “depressão de Sesimbra” (ver Figura 4.2) devido à estrutura geológica complexa que a constitui, contrastando, do ponto de vista morfológico, com o relevo envolvente (Serra dos Pinheirinhos, Serra de Ares e Serra do Risco) (Santos, 2011).

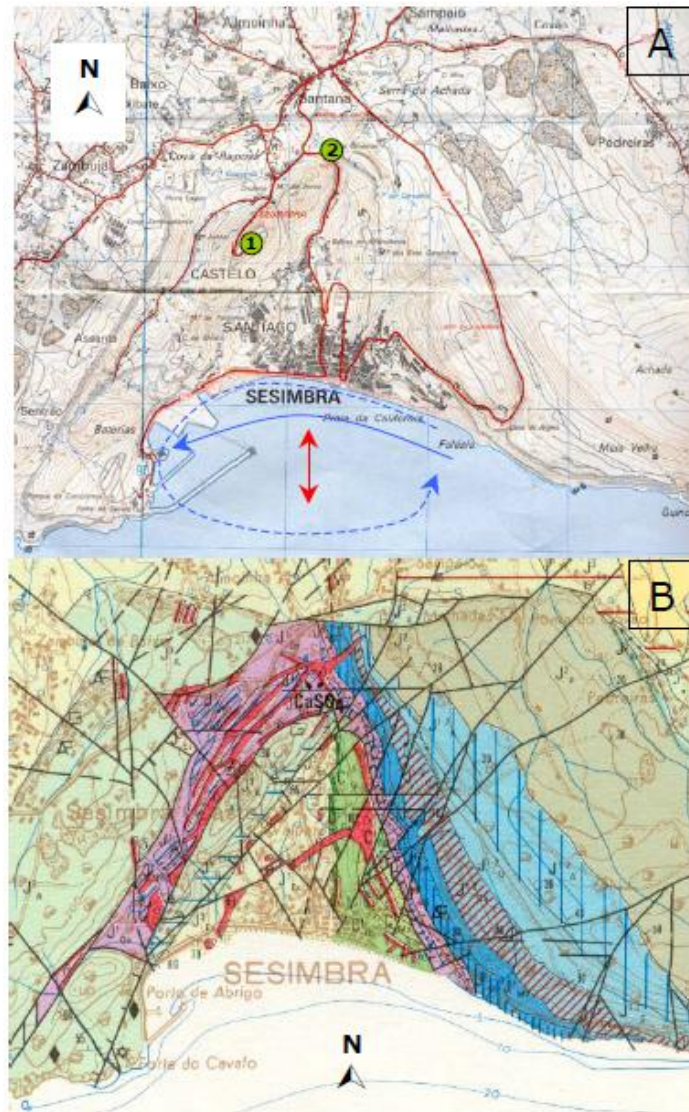


Figura 4.2 – Enseada de Sesimbra. A – excerto da Carta Militar de Portugal nº 464, à escala original 1:25 000 (IGE, 1994); B – excerto da Carta Geológica de Portugal, Folha 38-B (Setúbal) (IGM, 1994) à escala original 1:50 000

A depressão é controlada por um sinclinal dissimétrico, em cujo eixo afloram rochas cretácicas essencialmente areníticas. No troço Oeste da “depressão”, existe uma elevação do terreno devido à natureza do substrato que as constitui, essencialmente carbonatado, logo, mais resistente.

Se o sinclinal for limitado (Figura 4.3), é possível verificar afloramentos que datam do Jurássico inferior. Estas rochas são de alta plasticidade e de natureza mais branda, favorecendo o processo erosivo, bem como a formação de vales. As rochas evaporíticas que caracterizam a região, pertencentes a esta formação possuem uma componente gipsífera importante, tendo sido alvo de actividades extractivas (Cruces *et al.*, 2006).

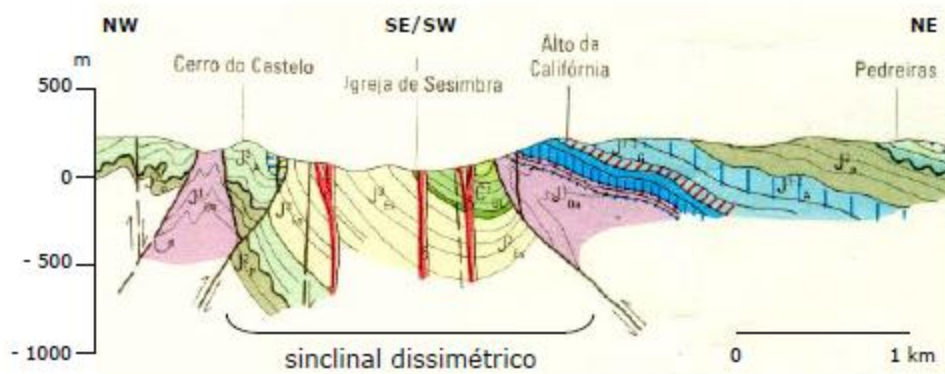


Figura 4.3 – Corte geológico da “depressão de Sesimbra”. Excerto do perfil A-B/C-D da Carta Geológica de Portugal, Folha 38-B (Setúbal) (IGM, 1994) à escala original 1:50 000

4.2.2 Ocupação do solo

No que concerne ao uso e ocupação do solo, o concelho de Sesimbra é caracterizado pela predominância de áreas florestais e espaços naturais, específicos da região da Península de Setúbal. As áreas urbanas ou urbanizáveis são outras importantes componentes do município, contrastante com a paisagem natural que se verifica ao longo do concelho. As freguesias do Castelo e Quinta do Conde possuem a maioria do seu solo urbanizado, albergando, em conjunto, aproximadamente 90% da população do município. Por sua vez, a freguesia de Santiago, apesar de conter a área na qual se verificam os maiores declives do concelho, é o local onde a densidade de fogos por hectare, directamente relacionada com a densidade populacional, é maior. A Figura 4.4 retrata o mapa de usos de solo do concelho de Sesimbra no ano de 2007.

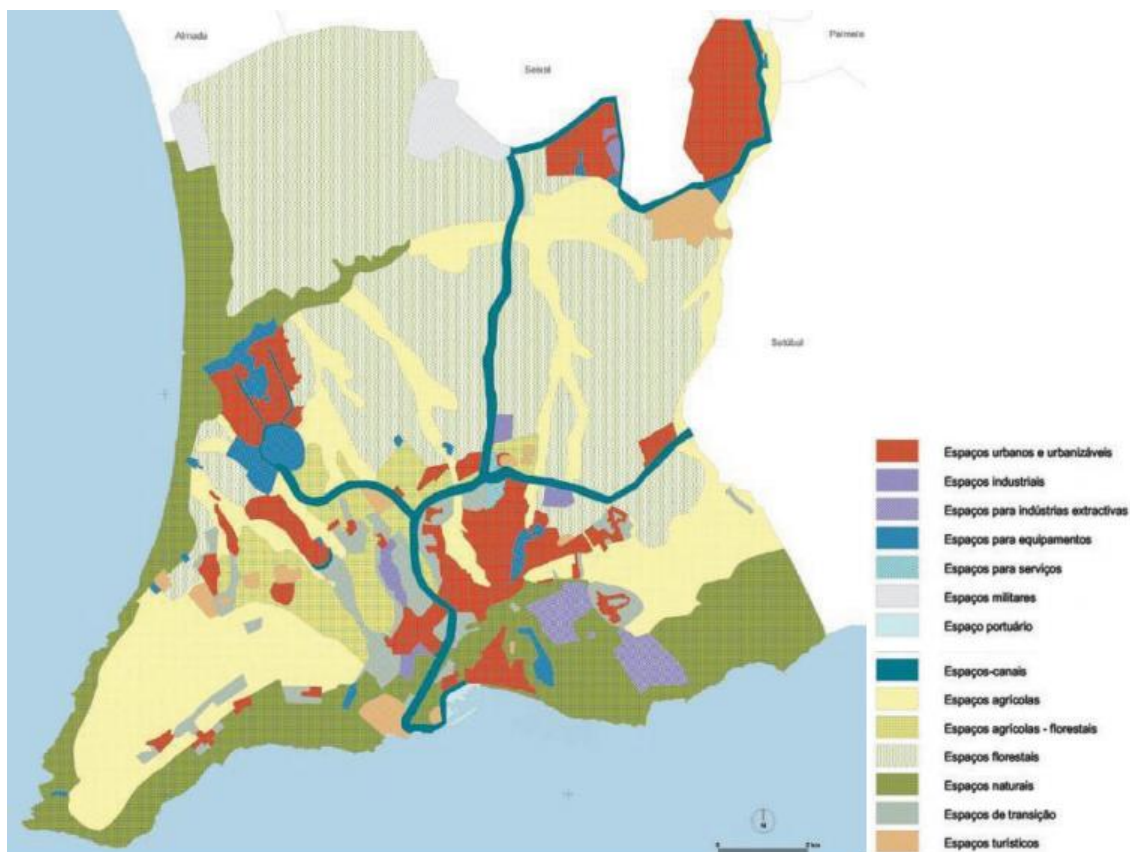


Figura 4.4 – Representação de usos e ocupação do solo em Sesimbra no ano de 2007 (FONTE: Plano Director Municipal de Sesimbra (2007))

4.2.3 Indústria

O tecido empresarial do concelho de Sesimbra é constituído por empresas maioritariamente do sector no terciário. Apesar de uma forte componente industrial presente na Península de Setúbal, particularmente nos parques industriais do Barreiro e de Setúbal, a actividade industrial no concelho de Sesimbra não assume, de todo, a mesma importância quando se estabelece a comparação com esses dois municípios (Barreiro e Setúbal).

Embora ocorra a predominância de actividades relacionadas com o sector terciário, nomeadamente comércio e turismo, devido também à sua localização geográfica, Sesimbra possui ainda uma componente industrial não negligenciável. As principais actividades industriais estão relacionadas com o porto do concelho, nomeadamente a captura e tratamento de pescado para comércio e a indústria metalúrgica naval associada a essas actividades. A actividade do sector primário emprega cerca de 3% da globalidade da população activa no município, segundo os Censos de 2011 (PORDATA, 2015).

A Figura 4.5 demonstra a partição dos sectores de actividade no concelho de Sesimbra para o ano de 2011.

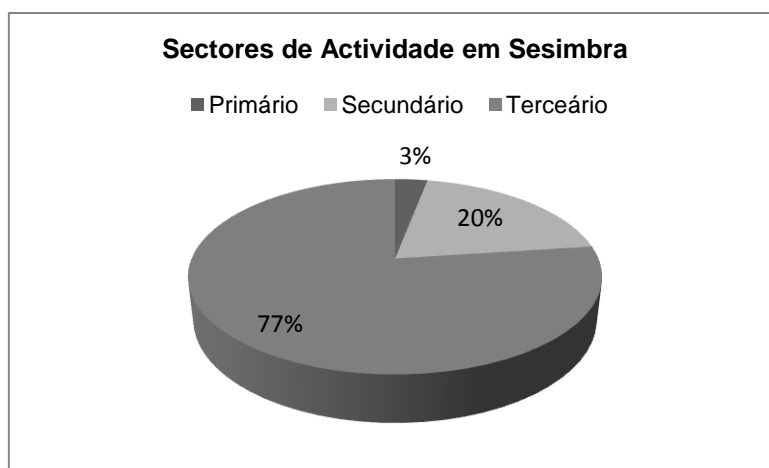


Figura 4.5 – Distribuição dos sectores de actividade em Sesimbra para o ano de 2011 (FONTE: INE, PORDATA, 2015)

4.2.4 Sub-sistema de abastecimento de água³

O sistema de abastecimento público de água do concelho de Sesimbra compreende o sistema em “alta” e em “baixa”.

O sistema em “alta” é constituído pela produção de água que tem origem em vinte captações subterrâneas a uma profundidade entre os 130 metros e os 140 metros, concentradas na Apostiça, na freguesia do Castelo, e na Quinta do Conde.

As captações do município de Sesimbra inserem-se no sistema aquífero designado por Bacia do Tejo/Sado – Margem Esquerda. Do sistema em “alta” fazem parte três estações de tratamento de água, integradas na parte de produção. Segundo a Câmara Municipal de Sesimbra, o volume anual de produção de água ronda os 5 700 000 m³.

O sistema em “baixa” é constituído essencialmente por 24 reservatórios, rede hidráulica de distribuição e algumas hidropressoras para servir as zonas elevadas.

A autarquia gere uma rede de abastecimento de água com cerca de 415 quilómetros de comprimento.

4.2.5 Sub-sistema de drenagem de águas residuais³

A câmara municipal de Sesimbra possui, no âmbito do Programa Operacional Temático Valorização do Território, incluído no Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN) 2007-2013, duas operações que visam a ampliação e melhoria do serviço de águas e saneamento.

Na operação I, designada por Saneamento da Freguesia do Castelo, o município pretende proceder à construção de um novo sistema de colectores para águas residuais domésticas,

³ Nesta secção, todos os dados são disponibilizados pela Câmara Municipal de Sesimbra.

englobadas na vertente em “baixa” em aglomerados urbanos ou em parte destes que não possuam, até à data, atendimento de serviço de águas residuais ou com cobertura incompleta.

Esta medida irá permitir aumentar não só a cobertura da rede, mas também a percentagem de população servida por sistemas de saneamento. Actualmente, o serviço de saneamento da freguesia do Castelo encontra-se nos 78% de cobertura da população total da freguesia e, através da concretização do projecto, pretende-se aumentar esse serviço para 94% da população total residente.

Na operação II, o município de Sesimbra apresentou, em 2012, uma candidatura ao Eixo II – Ciclo Urbano de Água – Vertente em Baixa – Modelo não Verticalizado, designada por Sistema em Baixa – Rede de Colectores de Alfarim, Meco, Torrões e Zambujal.

Com esta operação, tal como na operação I, a câmara municipal de Sesimbra pretende sustentar a concretização de um novo sistema de redes de colectores para águas residuais domésticas, englobadas na designada vertente em “baixa”, em aglomerados urbanos ou em parte de aglomerados urbanos ainda sem atendimento de serviço de águas residuais ou com cobertura incompleta, de modo a alcançar a meta de serviço a 95 por cento da população total do concelho.

Para atingir a meta delineada, a operação II contempla a construção de colectores e ramais distribuídos por quatro obras no terreno, que irão servir directamente 3 248 habitantes, numa população residente de 39 620 pessoas, o que corresponde a um incremento de 6,5 por cento na cobertura de serviço.

4.2.6 Precipitação

A obtenção de dados de precipitação é fundamental para um trabalho de engenharia sanitária, hidráulica, hidrológica ou, por vezes, civil. No entanto, nem sempre é fácil obter dados de precipitação fiáveis a nível nacional.

O Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) foi, outrora, uma boa base para a recolha e tratamento de dados de estações hidrométricas e meteorológicas a nível nacional. No entanto, esta plataforma, no que aos anos mais recentes se refere, possui muito poucos registos introduzidos, prejudicando as séries de registos diários, mensais e anuais de anos mais recentes.

A ETAR de Sesimbra não possui, nas suas instalações, um udógrafo, ou mesmo um udómetro, que permita obter registos de precipitação diários. Outra forma de obter registos alargados de precipitação seria recorrer ao INE e ao PORDATA que, no entanto, não possuem estes dados para a região de Sesimbra.

Assim, opção seguinte passou pela tentativa de obtenção de dados de precipitação através do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) que, no entanto, não se demonstrou disponível para fornecer, de forma gratuita, esses registos.

Deste modo foi necessário procurar uma solução alternativa, que permitisse a obtenção de dados minimamente fiáveis de precipitação. Em termos meteorológicos, existem, a nível europeu, instituições que disponibilizam informação gratuita e com fiabilidade. Uma dessas instituições é o Windguru. Nessa plataforma, existem dados tri-horários para a zona de Sesimbra com registos desde 2006, pelo que se procedeu a uma validação estatística relativamente esses dados de precipitação. A validação estatística em causa está detalhada na secção 5.2.2.

4.3 Subsistema de saneamento de águas residuais de Sesimbra

O subsistema de drenagem e tratamento de águas residuais de Sesimbra é constituído por seis interceptores, aos quais estão associados câmaras de carga, duas estações elevatórias e uma ETAR.

As câmaras de carga permitem que grande parte das águas residuais provenientes das zonas altas sejam encaminhadas para a ETAR em colectores gravíticos em pressão. As águas residuais da zona mais baixas da vila são encaminhadas para duas estações elevatórias e elevadas até à ETAR. Deste modo, a quase totalidade das infraestruturas lineares do sistema de saneamento “em alta” do subsistema de Sesimbra caracterizam-se por ser infraestruturas em pressão. As duas estações elevatórias existentes neste subsistema são a estação elevatória da Fortaleza e a estação elevatória do Mar. A primeira, localizada junto a uma linha de água, possui características que auxiliam na gestão das aflúências indevidas, tendo ainda sido definido em conjunto com o município uma série de procedimentos que visam minimizar as aflúências indevidas em tempo húmido. Deste modo, garante-se que eventuais caudais de águas descarregadas directamente no meio recetor possuam características qualitativas que não afetam a qualidade da água do meio recetor. Em tempo seco, e de modo a proteger a qualidade da água balnear, atendendo a que os volumes de precipitação são pontuais e relativamente baixos, a estação elevatória, associada a outras medidas, auxilia na prevenção da contaminação da praia (areal e água balnear).

A ETAR de Sesimbra destina-se ao tratamento das águas residuais geradas por uma população de 30 000 habitantes-equivalentes no ano horizonte de projecto. Integra duas linhas paralelas e autónomas de tratamento (cada uma assegura o tratamento do efluente produzido por cerca de 15 000 habitantes equivalentes). Dado o seu enquadramento, numa localidade em que práticas balneares são muito relevantes para o comércio e o turismo, torna-se fundamental um tratamento de efluentes adequado, que assegure a qualidade da água tratada, não comprometendo os usos do meio receptor final. Devido a esta preocupação, a ETAR de Sesimbra está equipada com as seguintes fases de tratamento: preliminar, primário e secundário.

A instalação é constituída por uma estrutura única, na qual os edifícios de tratamento preliminar, primário e secundário (tratamento biológico) e dos serviços de apoio possuem dois pisos acima do solo. De modo isolado, encontram-se os órgãos da linha de lamas (espessador, digestores e aquecimento), o gasómetro e o canal de desinfecção através de radiação ultravioleta (tratamento terciário). A fase de descarga dá-se a cerca de 500 metros da costa através de exutor submarino, no sentido de, em linha com o atrás referido, garantir o não comprometimento dos usos do meio receptor.

O efluente bruto chega à ETAR graviticamente, através dos sistemas interceptores que rodeiam a vila, e por bombagem, por intermédio das estações elevatórias da Fortaleza e do Mar.

Na ETAR, o efluente sofre um processo de depuração que se divide em três circuitos: circuito da água, circuito das lamas e circuito dos gases.

Circuito da Água

No circuito da água são consideradas as seguintes fases de tratamento: preliminar, primário e secundário.

No tratamento preliminar o efluente passa por uma gradagem fina para retenção dos sólidos mais grosseiros, prontamente compactados, removidos e enviados para aterro sanitário. Após a etapa de gradagem, o efluente é encaminhado para um órgão compacto – Sedipac 3D – no qual ocorrem as operações de desarenação e desengorduramento. A sedimentação das areias é acelerada devido à insuflação de ar de bolha grossa e são concentradas num classificador, sendo posteriormente removidas para aterro. A retenção de gorduras e de óleos é conseguida através de um processo de flotação. À semelhança do que acontece com as areias, as gorduras são também concentradas e posteriormente enviadas para destino adequado.

Segue-se o tratamento primário no qual ocorre a sedimentação dos sólidos suspensos através de um processo de decantação. As lamas provenientes deste processo são bombadas e enviadas para o circuito de lamas, designadamente para o espessador.

Após a decantação, o efluente é submetido a uma biofiltração – tratamento secundário – onde sofre um processo biológico de oxidação em duas etapas sucessivas nos órgãos Biofor C (remoção de C) e Biofor C+N (remoção de C e oxidação de N).

Nestes reactores, a matéria orgânica não sedimentada, excedente do tratamento primário, é fixada em culturas de microorganismos aeróbios, em duas etapas: o primeiro Biofor (Biofor C), remove a maior parte da matéria carbonácea e o segundo Biofor conclui este processo, promovendo-se também uma oxidação parcial do azoto amoniacal que, na sua forma de nitrato, será menos agressivo para o meio receptor.

Parte da água resultante do processo de biofiltração é armazenada num tanque de água tratada, sendo posteriormente utilizada na lavagem dos próprios biofiltros. Esta lavagem permite remover as lamas fixadas pelos microrganismos, reenviando-se esta mistura de água e lamas novamente para o processo de decantação.

Após a biofiltração a água estará em condições para ser lançada no oceano, através do exutor submarino, respeitando os padrões de qualidade exigidos por lei.

No circuito das águas é ainda considerado um circuito complementar que recolhe o conjunto de escorrências que resultam da lavagem dos filtros biológicos do tratamento secundário e da lavagem dos restantes órgãos e pavimentos. Estas escorrências são concentradas num tanque, onde posteriormente é efectuado o seu bombeamento para o início do tratamento primário.

Circuito de lamas

As lamas resultantes do processo de decantação são recolhidas do fundo dos decantadores. Numa primeira fase são bombeadas para um espessador onde se depositam por acção de gravidade.

São depois enviadas para o digestor anaeróbio onde sofrem um processo de estabilização durante cerca de 18 dias, a uma temperatura constante de 35 °C. Para permitir que a temperatura se mantenha constante, as lamas são recirculadas e aquecidas numa central que utiliza o biogás produzido no processo de queima.

Por fim, as lamas estabilizadas são recolhidas e desidratadas por centrifugação, sendo posteriormente enviadas para compostagem.

Circuito de gases

O circuito de gases inclui a recolha e aproveitamento (ou eliminação por processo de queima) dos gases resultantes da digestão de lamas e a recolha e tratamento do ar contaminado pela vizinhança dos órgãos que emitem odores incómodos (gradagem, desarenador, desengordurador, decantador e centrifugador de lamas).

A recolha do biogás produzido no digestor é efectuada através de um sistema de tubagens que o conduz para armazenamento num gasómetro. O gás armazenado alimenta os motores da unidade de cogeração permitindo a produção de energia eléctrica e calor que é utilizado para aquecimento das lamas do digestor. Os excedentes do biogás são queimados numa tocha, localizada num dos extremos da ETAR.

Atualmente o ar contaminado produzido nos circuitos de tratamento é extraído e filtrado, num biofiltro que assegura a desodorização, permitindo assim a sua descarga, dando origem a compostos inodoros que são libertados para a atmosfera.

Estações elevatórias

Ao sistema de drenagem de águas residuais que afluem à ETAR de Sesimbra estão associadas duas estações elevatórias – Fortaleza e Mar – nas quais se processam etapas de tratamento preliminar (gradagem) a montante do encaminhamento do efluente para a ETAR. Ambas as estações possuem sondas que notificam os trabalhadores se os níveis de ácido sulfídrico atingirem valores que comprometam a sua segurança.

A estação elevatória da Fortaleza possui desodorização, devido à sua localização entre o limite da zona urbana e a linha de costa.

Em termos de afluência de cada uma das estações elevatórias e, segundo dados disponibilizados pela SIMARSUL, estima-se que 40% do caudal dos 30 000 habitantes equivalentes para o qual está projectada a ETAR de Sesimbra, passe pela estação elevatória da Fortaleza. Quanto à estação elevatória do Hotel do Mar, compete o bombeamento de 15% a 20% desse mesmo caudal total. O restante caudal aflui à ETAR através de um sistema de colectores gravíticos em pressão.

5 IDENTIFICAÇÃO E MINIMIZAÇÃO DE FONTES DE INFILTRAÇÃO

5.1 Introdução à situação de referência

O início do estudo de um plano de monitorização e prevenção de caudais de infiltração afluentes a uma rede de drenagem inicia-se com a consciencialização da entidade gestora do problema causado pela ocorrência de infiltrações

Em Portugal, e durante um alargado período temporal, a gestão da maioria das ETAR foi entregue à própria entidade municipal. Desse modo, a necessidade da quantificação de volumes excedentários afluentes às estações de tratamento era negligenciada e não assumia tanta preponderância, particularmente ao nível financeiro, comparativamente à situação actual. A gestão de sistemas de saneamento era realizada de forma meramente interna e a cooperação entre autarquias no diagnóstico e resolução de problemas era praticamente nula.

A concessão dos sistemas de saneamento em “alta” a empresas públicas e privadas conduziu a que os responsáveis pela execução do projecto das infraestruturas sanitárias sejam alvo de maior rigor ao nível do desempenho dos sistemas em “baixa”, uma vez que todos os custos relacionados com o tratamento do volume afluente à ETAR são indexados à entidade gestora da mesma.

Numa primeira fase, a análise de caudais excedentários passa por uma caracterização local, quer a nível das características das infraestruturas, quer a nível das características topográficas e geográficas.

De modo a facilitar a compreensão da dimensão desta problemática na bacia que drena directamente para a ETAR de Sesimbra, a SIMARSUL disponibilizou dados relativos aos volumes afluentes à ETAR, no período entre 2009 e 2014. Repare-se que, no entanto, estes dados são relativamente limitados no tempo, pois a SIMARSUL trata-se de uma empresa jovem e os registos disponibilizados não permitem a comparação diária, mensal e anual com a representatividade desejada.

De modo a iniciar a análise, deve ser detalhada a diferença entre níveis de atendimento entre sistema de abastecimento de água e saneamento. Através da análise de dados mais recentes, constata-se que, a nível nacional, a percentagem da população que é abastecida de água para consumo humano é ligeiramente superior àquela cujo serviço público de drenagem é assegurado (ERSAR, 2013), situação idêntica se verifica no subsistema de Sesimbra.

5.2 Quantificação e caracterização de aflúências indevidas

5.2.1 Análise da precipitação local

Para analisar e quantificar o efeito de aflúências indevidas a um sistema de drenagem urbana de águas residuais, importa ter em conta a precipitação local.

5.2.1.1 Verificação de séries de dados

A principal fonte de informação pública para obtenção de dados meteorológicos ou hidrométricos para uma dada região é o Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH). Aquando da pesquisa efectuada, foi verificado que as estações meteorológicas mais próximas da região de Sesimbra são as de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG) e do Monte da Caparica (22B/01C). Na Figura 5.1 é possível verificar a localização dos postos meteorológicos referidos.



Figura 5.1 – Localização dos postos da rede meteorológica na região de Sesimbra (FONTE: SNIRH, 2015)

Contudo, os dados disponíveis para estas estações não cumprem a função pretendida para o período em estudo, já que desde o ano de 2005 que a maioria dos valores não são registados, mas sim estimados. Dos postos passíveis de influenciar a área de estudo, apenas o posto de Vila Nogueira de Azeitão demonstrou possuir uma série de dados significativamente robusta para ser considerada para o estudo a realizar.

De facto, com os valores de precipitação diária disponíveis (em que se verificaram valores de 0 mm em dias que se sabe terem sido de precipitação intensa) e, sendo estes valores necessários para comparar com os valores diários de caudal afluente à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza, tornou-se inviável tentar realizar uma correlação entre valores de precipitação e de caudal de águas residuais, para o período em estudo.

De forma a obter uma série de dados de precipitação diária viável para utilização no estudo a desenvolver, foi necessário abordar a questão de outro modo. Assim, optou-se por recorrer à base de dados do projecto *Windguru*, que tem dados meteorológicos tri-horários fiáveis para a região de Sesimbra, desde o ano de 2006 (Figura 5.2).

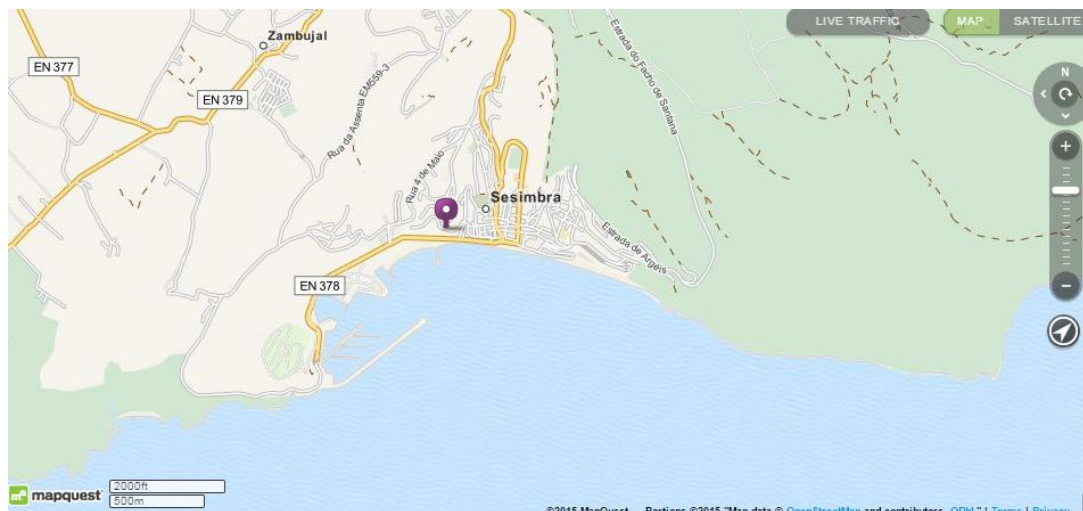


Figura 5.2 – Localização geográfica virtual do posto de Sesimbra (FONTE: *Windguru*, 2015)

O projecto *Windguru* utiliza dados de simulação através de vários sistemas de medição. Para a realização do presente trabalho, foram considerados dados do sistema *Global Forecast System* (GFS), disponibilizados de forma gratuita pelo projecto. O sistema GFS é executado pelos centros de previsão nacional (NCEP), que são uma filial da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), do *National Weather Service* (NWS). O sistema GFS disponibiliza dados com intervalo de três horas e evoluiu para obter cobertura em todo o globo, etapa ultrapassada em Janeiro de 2015.

Embora os dados de precipitação da base de dados *Windguru* sejam fiáveis, foi realizada uma comparação com os valores registados, no mesmo período temporal (2006 a 2014), no posto de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG). Esta tarefa revelou-se difícil, devido à inexistência de valores de precipitação anual comuns a ambas as origens. O posto de Vila Nogueira de Azeitão possui dados de precipitação total anual desde 1932, sendo que a partir de 2001 começam a existir falhas na série disponível. Como anteriormente referido, o projecto *Windguru* disponibiliza, para a zona de Sesimbra, dados de precipitação total anual apenas desde 2006.

Segundo Lencastre (1990), a utilização de uma série de dados de precipitação total anual está dependente da mesma possuir um mínimo de 30 anos de registos, para que o seu tratamento estatístico possa ter a necessária representatividade. Apesar dessa condição, a série de dados disponibilizada pelo *Windguru* foi aquela que se demonstrou mais robusta, quando analisado o período entre 2009 e 2014, relativamente ao qual foram disponibilizados, pela SIMARSUL, dados de afluência à ETAR de Sesimbra e à EE da Fortaleza).

Numa primeira abordagem, e após a análise prévia dos dados, foram estudadas ambas as séries de dados de precipitação total anual. Seguidamente, procurou-se determinar a distribuição estatística que melhor descreve o comportamento dessas séries de registos de precipitação.

A Figura 5.3 apresenta o ajustamento de uma função de distribuição Normal (lei de Gauss) à série de dados de precipitação total anual do posto de Vila Nogueira de Azeitão.

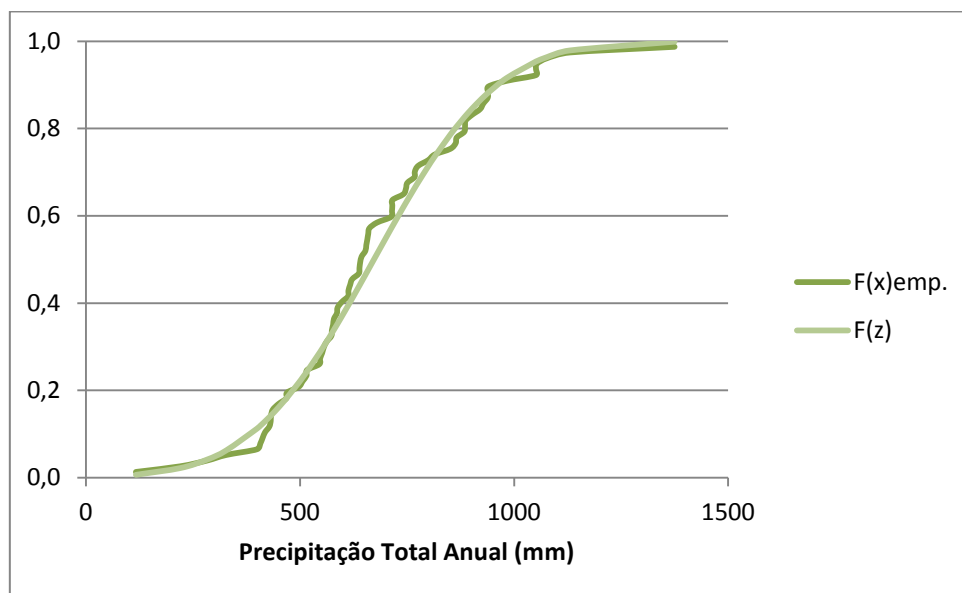


Figura 5.3 – Ajustamento da função de distribuição Normal à série de dados de precipitação total anual do posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)

O posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão possui dados diários registados desde 1931. Só no ano de 2002 os dados desta série temporal começaram a ser medidos de forma automática e, posteriormente, calculados. Esta extensa série permite obter uma caracterização da precipitação total anual registada na região, estabelecendo um padrão de comportamento estatístico relativamente aos dados registados.

De forma a validar o ajustamento realizado, foram aplicados dois testes de rejeição dos mais utilizados no tratamento deste tipo de dados – qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov – ambos para um intervalo de confiança de 95%. O Quadro 5.1 resulta da aplicação destes testes de rejeição à série de dados de precipitação total anual do posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG), considerando-se a hipótese da função de distribuição Normal descrever bem o comportamento dessa série de registos.

Quadro 5.1 – Resumo da aplicação de testes de rejeição ao ajustamento realizado à série de dados de precipitação total anual do posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)

Teste	Valor Calculado	Valor Tabelado
Kolmogorov-Smirnov	0,0974	0,1242
Qui-quadrado	5,263	11,070

Na aplicação de ambos os testes de rejeição verifica-se que os valores tabelados são superiores aos valores calculados. Desse modo, o ajustamento dos valores de precipitação total anual da série de dados do posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG) à lei de Gauss não deve ser rejeitado nos testes realizados, para o nível de confiança considerado.

O Quadro seguinte (Quadro 5.2) apresenta os valores de precipitação inerente a anos característicos, resultantes do ajustamento da função de distribuição Normal à série de valores de precipitação total anual relativos ao posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão.

Quadro 5.2 –Valores de precipitação para anos característicos relativamente ao posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)

Caracterização	F(z)	Número de Ocorrências	z	Precipitação Anual (mm)
Ano Muito Seco	0,05	3	-1,645	302,2
Ano Seco	0,20	12	-0,842	483,0
Ano Médio	0,50	43	0,000	672,4
Ano Húmido	0,80	12	0,842	861,8
Ano Muito Húmido	0,95	6	1,645	1 042,6

Quanto à série de dados de precipitação total anual obtidos através do projecto *Windguru*, a tentativa de realizar um ajustamento semelhante ao que foi aplicado à série de dados de precipitação total anual do posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão, é inconclusiva, devido à disponibilidade de apenas oito valores de precipitação total anual, o que é muito pouco em termos de representatividade estatística. Contudo, o .

Quadro 5.3 simula a aplicação de um tratamento estatístico, semelhante ao realizado para a série de dados de precipitação total anual do posto meteorológico de Vila Nogueira de Azeitão, à série de dados de precipitação total anual do projecto *Windguru*.

Quadro 5.3 – Valores de precipitação para anos característicos relativamente ao posto meteorológico de Sesimbra (GFS 27 km)

Caracterização	F(z)	Número de ocorrências	z	Precipitação Anual (mm)
Ano Muito Seco	0,05	0	-1,6449	357,7
Ano Seco	0,20	2	-0,8416	538,1
Ano Médio	0,50	3	0,0000	727,2
Ano Húmido	0,80	3	0,8416	916,3
Ano Muito Húmido	0,95	0	1,6449	1 096,7

A análise dos dados apresentados nos quadros Quadro 5.2 e Quadro 5.3 permite estabelecer a comparação entre as duas séries de dados de precipitação total anual consideradas para a realização deste trabalho. Apesar da falta de representatividade da segunda dessas séries, devido à sua reduzida extensão, verificou-se que as diferenças encontradas para os diferentes anos característicos são pouco significativas.

Posteriormente, foram cruzados os valores de precipitação mensal do posto de Sesimbra (GFS 27 km) e do posto de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG). Como anteriormente referido, seria impossível cruzar os dados de ambas as séries e obter uma conclusão robusta sem executar uma filtração dos dados existentes, na medida em que na série inerente a Vila Nogueira de Azeitão, e para o período em questão, há valores que se consideram espúrios. Os principais passos para averiguar a eventual conformidade entre as duas séries de dados foram os seguintes:

- 1) Retirar, a ambas as séries de dados, para o período entre 1 de Outubro de 2006 e 30 de Setembro de 2014, os valores em falta no posto de Vila Nogueira de Azeitão. Posteriormente a esta etapa, as séries passam de 84 valores de precipitação mensal para 80 valores. Após esta operação, o valor do coeficiente de correlação entre as séries de dados do posto de Sesimbra (GFS 27 km) e Vila Nogueira de Azeitão transitou de 37% para 52%.
- 2) Apesar da remoção dos valores nulos, a série inerente ao posto de Vila Nogueira de Azeitão permanece com uma significativa disparidade de valores. Um exemplo desse facto é o mês Novembro de 2011, no qual o posto de Vila Nogueira de Azeitão regista um valor nulo e o posto de Sesimbra apresenta um valor de precipitação mensal de 138,5 mm. Devido a esta discrepância de valores registados entre ambas as séries de dados, é plausível desprezar este tipo de valores considerados espúrios, e obter uma série suficientemente longa para ser averiguar a correlação entre os dados dos dois postos. Após essa filtração, a série de dados reduz-se a 62 valores de precipitação mensal e o coeficiente de correlação entre os valores registados nos dois postos passa para 79%.
- 3) Considerando a nova série de dados para o posto de Vila Nogueira de Azeitão, verifica-se que no mês de Outubro de 2010 se registam 0,8 mm de precipitação, enquanto que o posto de Sesimbra regista 113,5 mm. Esta divergência de valores pode, também, ser segregada, de modo a obter uma série na qual se possa averiguar a correlação entre os postos de forma mais fiável. Considerando a remoção de valores com 50% ou mais de diferença entre si, as novas séries de dados possuem 54 registos e o coeficiente de correlação entre as mesmas aumenta para 94%.

A Figura 5.4 permite estabelecer a comparação entre os dados dos postos de Sesimbra e de Vila Nogueira de Azeitão, após o tratamento de dados atrás referido.

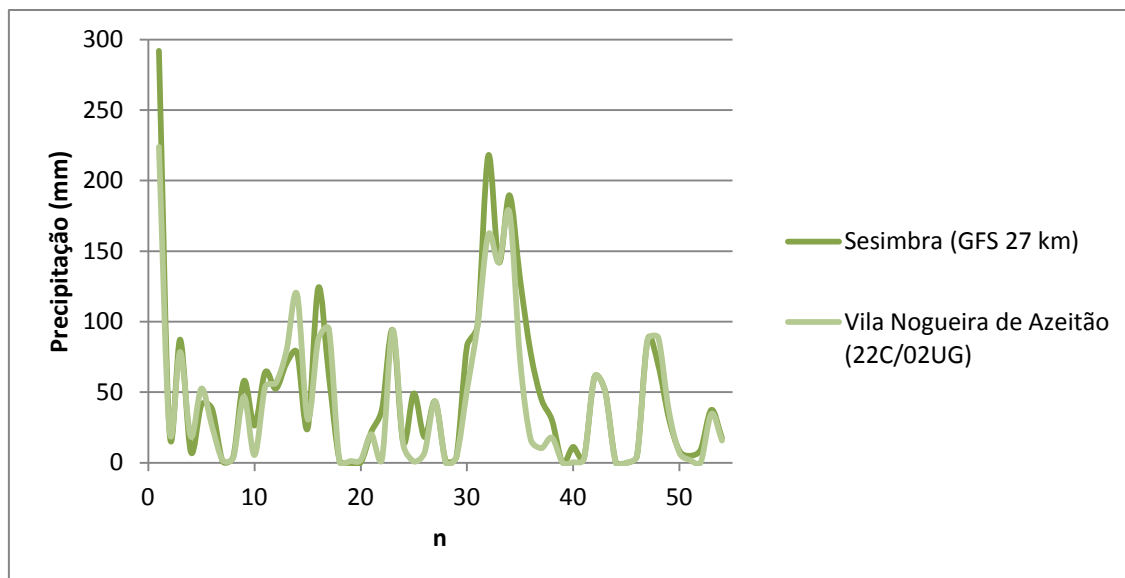


Figura 5.4 – Comparação entre valores de precipitação mensal entre os postos de Sesimbra (GFS 27 km) e Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG)

Recorrendo à análise gráfica facilmente se verifica que, uma vez excluídos os registos menos plausíveis, as duas séries de dados apresentam um comportamento bastante homogêneo. Este facto é de fundamental importância, devido à ausência de dados do posto de Vila Nogueira de Azeitão para o período em análise, e consequente impossibilidade de utilizar essa série para o estudo desenvolvido.

5.2.1.2 Caracterização da precipitação

A ETAR de Sesimbra possui, à “cabeça” da instalação, um medidor de caudal que regista valores diários das afluências. Os dados de caudal disponibilizados pela SIMARSUL têm início no ano de 2008. No entanto, a ETAR não dispõe de registos da precipitação que ocorre no local onde se insere, pelo que foi necessário obter os dados relativos à precipitação diária através de outros registos, de acordo com o atrás referido.

Considerando a ocorrência de afluências indevidas, várias conclusões de autores de estudos anteriores a este trabalho permitem avançar com o pressuposto que a pluviosidade contribui em larga escala para os volumes de infiltração em redes de drenagem, ainda que influenciada por outros factores (como permeabilidade do solo, declive dos terrenos, etc.) (Kretschmer *et al.*, 2008; Vaes *et al.*, 2005). A relevância deste parâmetro no estudo das infiltrações indevidas às redes de drenagem é tal, que vários autores tentam estabelecer uma correlação entre a precipitação ocorrente e o acréscimo ou decréscimo de volumes afluentes à estação de tratamento, no sentido de prever os caudais transportados na rede de drenagem.

Observando os valores de precipitação registada no período entre 2009 e 2014, foi desenvolvida uma análise simples, mas que ainda assim permitiu obter uma perspectiva, a nível mensal, sobre a intensidade da precipitação, tendo em conta que este parâmetro

influencia os volumes de infiltração de forma directa. Para concretizar essa análise, foram examinados os dados de precipitação diária.

Utilizando uma decomposição que diferencia os valores de precipitação mensal com base nos valores de precipitação diária, foi criada uma caracterização de modo a estabelecer a diferenciação entre os períodos secos e os períodos nos quais ocorreu precipitação. Nos dias sem chuva, este método procura evidenciar, não só o número de dias nos quais não ocorre precipitação, mas também o número de dias, consecutivos, em que se verifica precipitação. Foi, também, realizada uma distinção ao nível dos períodos com ocorrência de precipitação, estabelecendo a distinção entre dias com pouca precipitação e dias com precipitação mais elevada.

A obtenção destes dados foi baseada na seguinte caracterização:

- Dias sem chuva, nos quais ocorrem, em 24 horas, 0 mm de precipitação;
- Dias com pouca chuva, caracterizados por valores de precipitação diária entre 0 e 10 mm;
- Dias com muita chuva, nos quais o valor de precipitação é igual ou superior a 10 mm.
- Foi evidenciado o valor máximo de dias de cada tipo em cada mês, de modo a tentar entender a sua relação com a precipitação mensal e, por outro lado, tentar entender como é que esses valores podem conduzir, em menor ou maior grau, à ocorrência de infiltração nas redes de drenagem urbana.

Embora de natureza essencialmente empírica, considera-se que a abordagem adotada permite melhorar a compreensão sobre a precipitação na região de Sesimbra, na perspectiva de tentar compreender a sua influência sobre a questão da infiltração nas redes de drenagem. Para uma análise de maior pormenor, teria que se dispor de dados de precipitação horária, para a região de Sesimbra.

Os resultados da análise atrás referida são apresentados nos quadros 5.4 a Quadro 5.9.

Quadro 5.4 – Análise da precipitação em 2009

Mês	Dias Sem Chuva	Dias com Pouca Chuva	Dias com Muita Chuva	Nº Máximo de dias consecutivos sem chuva	Precipitação Máxima Diária Mensal (mm/dia)	Precipitação Total Mensal (mm)
Janeiro	12	16	3	6	21,9	116,3
Fevereiro	16	10	2	17	33	81,2
Março	23	8	0	14	6,5	14,5
Abril	18	10	2	8	15,2	49,2
Maio	26	4	1	9	10,5	18,2
Junho	22	7	1	6	19,9	32,7
Julho	30	1	0	21	1,2	1,2
Agosto	31	0	0	31	0,0	0,0
Setembro	26	4	0	16	1,2	2,8
Outubro	25	3	3	12	22,4	82,8
Novembro	15	12	3	5	17,4	68,9
Dezembro	10	11	10	7	36,1	217,7
TOTAL	254	86	25			685,5

O ano de 2009 comporta-se, em termos pluviométricos, como um ano *standard* na realidade pluviométrica da região. Julho e Agosto apresentam-se como os meses mais secos do ano. Por outro lado, Janeiro e Dezembro correspondem aos meses mais húmidos, com maior ocorrência de precipitação. A única excepção surge no mês de Fevereiro, no qual ocorrem 16 dias sem precipitação mas, por outro lado, é registado um valor de precipitação máxima diária elevado (o segundo, no cômputo anual).

Seguidamente, apresenta-se o Quadro 5.5, referente ao ano de 2010.

Quadro 5.5 – Análise da precipitação em 2010

Mês	Dias Sem Chuva	Dias com Pouca Chuva	Dias com Muita Chuva	Nº Máximo de dias consecutivos sem chuva	Precipitação Máxima Diária Mensal (mm/dia)	Precipitação Total Mensal (mm)
Janeiro	12	15	4	5	23,3	110,9
Fevereiro	8	13	7	2	19,2	189,6
Março	15	12	4	8	23	129,7
Abril	20	5	5	9	17,6	77,6
Maio	26	4	1	12	29	45,2
Junho	25	4	1	18	19,6	30,1
Julho	31	0	0	31	0,0	0,0
Agosto	27	4	0	13	7,7	11,3
Setembro	26	4	0	7	3,3	7,3
Outubro	20	7	4	9	37,6	113,5
Novembro	19	6	5	7	18,7	81,1
Dezembro	11	10	10	8	41,4	275,9
TOTAL	240	84	41			1 072,2

No período de seis anos analisado, 2010 revela-se o ano no qual o valor de precipitação total anual é mais elevado (1072,2 mm). O mês de Dezembro é aquele que regista maior valor, quer de precipitação total mensal, quer de precipitação máxima diária. Nos meses do semestre húmido, apenas Novembro apresenta um valor de precipitação mensal abaixo dos 100 mm. Quanto ao semestre seco, apenas Julho regista ausência total de precipitação.

Segue-se a análise ao ano de 2011, cujos valores são apresentados no Quadro 5.6.

Quadro 5.6 – Análise da precipitação em 2011

Mês	Dias Sem Chuva	Dias com Pouca Chuva	Dias com Muita Chuva	Nº Máximo de dias consecutivos sem chuva	Precipitação Máxima Diária Mensal (mm/dia)	Precipitação Total Mensal (mm)
Janeiro	15	14	2	11	28,5	80,1
Fevereiro	19	6	3	10	23,3	66,1
Março	14	14	3	6	17,8	95,6
Abril	18	5	7	17	25,6	123,6
Maio	16	13	2	5	20,4	82,7
Junho	27	3	0	16	1,1	1,7
Julho	29	2	0	20	2,0	2,8
Agosto	26	5	0	10	7,5	17,1
Setembro	27	2	1	26	16,5	17,3
Outubro	25	2	4	21	37,3	81,9
Novembro	16	9	5	8	29,3	138,5
Dezembro	24	7	0	13	5,2	13,1
TOTAL	256	82	27			720,5

O ano de 2011 caracteriza-se pela ocorrência de precipitações máximas diárias bastante elevadas comparativamente aos anos precedentes. Contudo, o valor de precipitação total anual é mais baixo que o verificado em 2010.

O mês de Dezembro revela-se bastante seco, sendo a correspondente precipitação mais baixa do que em Agosto ou Setembro. Verifica-se, ainda, a tendência oposta à registada nos meses do semestre húmido do ano de 2009, uma vez que o mês de Novembro de 2011 é o único com precipitação mensal superior a 100 mm.

Apresenta-se em seguida o Quadro 5.7, referente ao ano de 2012.

Quadro 5.7 – Análise da precipitação em 2012

Mês	Dias Sem Chuva	Dias com Pouca Chuva	Dias com Muita Chuva	Nº Máximo de dias consecutivos sem chuva	Precipitação Máxima Diária Mensal (mm/dia)	Precipitação Total Mensal (mm)
Janeiro	28	3	0	15	9,1	12,2
Fevereiro	28	1	0	27	0,4	0,4
Março	25	5	1	13	22,2	36,3
Abril	13	16	1	4	10,5	42
Maio	22	7	2	11	19,2	64,1
Junho	28	2	0	20	0,4	0,7
Julho	31	0	0	31	0,0	0,0
Agosto	29	2	0	16	1,5	1,9
Setembro	25	4	1	15	11	21,8
Outubro	20	7	4	10	32,9	106,8
Novembro	12	11	7	3	39,9	165,5
Dezembro	20	7	4	6	19,6	84,6
TOTAL	281	65	20			536,3

O ano de 2012 revela-se um ano seco, onde ocorre o menor volume de precipitação total anual no período analisado (536,3 mm). Neste ano, ocorre uma baixa taxa de precipitação ao longo do primeiro trimestre. De facto, durante Janeiro, Fevereiro e Março desse ano, choveu apenas em nove dos noventa e um dias desse trimestre. Como nos restantes anos, Julho revela ser o mês mais seco, no qual não ocorre qualquer precipitação.

Seguidamente, é efectuada a análise ao ano de 2013, no Quadro 5.8.

Quadro 5.8 – Análise da precipitação em 2013

Mês	Dias Sem Chuva	Dias com Pouca Chuva	Dias com Muita Chuva	Nº Máximo de dias consecutivos sem chuva	Precipitação Máxima Diária Mensal (mm/dia)	Precipitação Total Mensal (mm)
Janeiro	17	12	2	8	14,6	69,3
Fevereiro	19	9	0	9	8,6	31,6
Março	10	11	10	3	30	197,5
Abril	20	8	2	17	23	44,5
Maio	23	8	0	12	3,8	8,4
Junho	26	4	0	12	2,5	5
Julho	31	0	0	31	0,0	0,0
Agosto	31	0	0	31	0,0	0,0
Setembro	22	5	3	19	51,2	112
Outubro	17	10	4	13	48,4	119,1
Novembro	26	4	0	13	3,9	9,4
Dezembro	20	9	2	10	30	63,3
TOTAL	262	80	23			660,1

O mês com maiores valores de precipitação é o de Março. No semestre seco, registam-se 62 dias seguidos sem ocorrência de precipitação, nos meses de Julho e Agosto. O mês de Setembro revela-se igualmente atípico, no qual ocorre mais precipitação que o somatório de Novembro e Dezembro e é neste mês que se regista o maior valor de precipitação máxima diária anual. No último trimestre, destaca-se a precipitação verificada em Outubro, igualmente superior, neste mesmo mês, aos anos precedentes.

De seguida, é realizada a análise da precipitação no ano de 2014, no Quadro 5.9.

Quadro 5.9 – Análise da precipitação em 2014

Mês	Dias Sem Chuva	Dias com Pouca Chuva	Dias com Muita Chuva	Nº Máximo de dias consecutivos sem chuva	Precipitação Máxima Diária Mensal (mm/dia)	Precipitação Total Mensal (mm)
Janeiro	11	16	2	4	27	107,8
Fevereiro	8	16	4	2	22,2	126,6
Março	22	8	1	12	22,9	46,6
Abril	20	9	1	10	42,3	66,6
Maio	23	9	2	15	17,3	37,5
Junho	23	7	0	11	4,9	17,5
Julho	28	3	0	12	1,3	2,8
Agosto	30	1	0	29	0,4	0,4
Setembro	12	13	5	5	22,2	124
Outubro	22	5	4	13	23,2	86,5
Novembro	8	15	7	2	40,9	201
Dezembro	26	4	1	17	20,4	22,9
TOTAL	233	103	27			840,2

Os maiores volumes de precipitação registam-se nos seis meses mais húmidos, com excepção do mês de Setembro, no qual ocorre mais precipitação que em Outubro ou Dezembro. Aliás, o mês de Dezembro, tipicamente mais húmido, é, em termos de precipitação mensal no cômputo anual de 2014, o quarto mês mais seco do ano. De verificar, ainda, que no dia 13 de Dezembro choveu aproximadamente 89% da precipitação mensal.

Finalmente, para uma análise mais agregada em termos de precipitação mensal, a Figura 5.5 apresenta os valores respectivos a cada mês e para cada ano do período estudado.

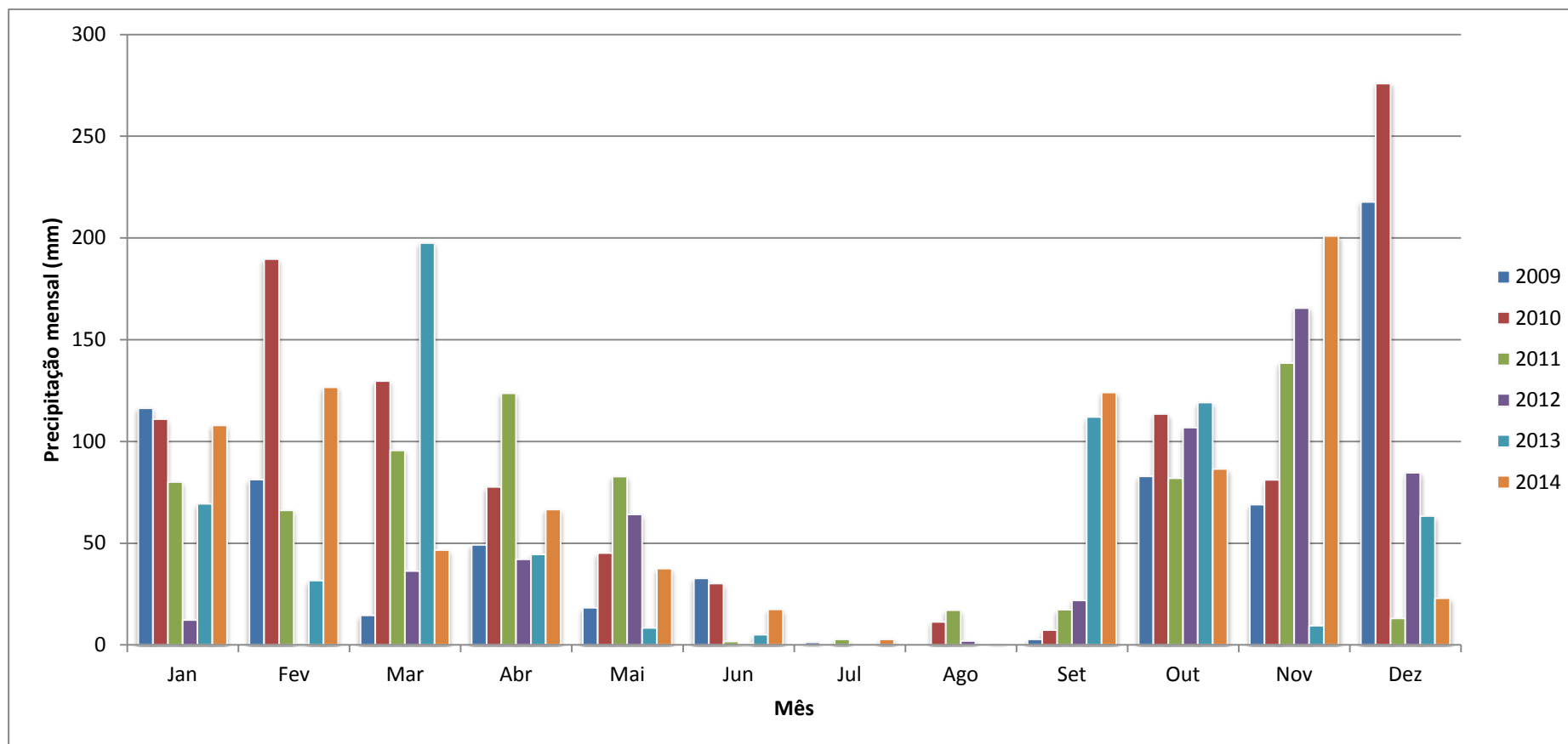


Figura 5.5 – Comparação de valores de precipitação mensal durante o período entre 2009 e 2014

5.2.1.3 Infiltração de tempo húmido e tempo seco

No Capítulo 3 foi apresentada a diferenciação, assim como a metodologia de cálculo, da infiltração directa e indirecta. Por forma a analisar a contribuição da precipitação na infiltração para a rede de drenagem, existe a necessidade de efectuar a divisão entre tempo húmido e tempo seco. Contudo, a bibliografia existente, em língua portuguesa, não é muito clara sobre esta divisão, sendo preferível recorrer à terminologia anglo-saxónica para diferenciar estes tipos de infiltração.

Cada um dos tipos de infiltração apresentados no Capítulo 3 (infiltração directa e indirecta) pode ser dividido em duas componentes: a infiltração indirecta engloba o *Groundwater Infiltration* (GWI) e o *Rainfall Induced Infiltration* (RII); enquanto a infiltração directa engloba o *Stormwater Inflow* (SWI) e o *Drywater Inflow* (DWI) (EPA, 1990).

A GWI é a componente da infiltração provocada pela infiltração de águas subterrâneas, devido à sua presença e percolação na zona saturada do solo, localizada abaixo do lençol freático, introduzindo-se através de defeitos na infraestrutura do sistema de saneamento. O caudal de GWI é usualmente constante e o seu valor não é afectado pela ocorrência de precipitação. Assim, a única parcela que pode alterar esta componente é a subida do nível freático, função da precipitação, mas não de forma directa (EPA, 1990).

O RII contempla uma forma particular da infiltração indirecta já que, comportando-se de modo idêntico à entrada de águas pluviais no sistema de drenagem, poderia ser confundida com uma parcela da infiltração directa. Porém, como o RII entra na rede de drenagem através de falhas estruturais e juntas de ligação, inclui-se na parcela indirecta da infiltração. No entanto, as suas características de afluência aproximam-se das consideradas na parcela directa da infiltração, devido ao rápido aumento de caudal, função da dimensão temporal do evento de precipitação, seguido de uma diminuição ocorrente quando cessa o evento pluviométrico (EPA, 1990).

A GWI e a RII, podem distinguir-se pela duração e intensidade entre os dois tipos de infiltração que determinam. O primeiro caracteriza-se por uma intensidade aproximadamente constante e duração mais prolongada, enquanto o segundo é caracterizado por fenómenos de mais curta duração e maior intensidade. Ambas as formas de infiltração são dependentes da capacidade de absorção da superfície do solo, função da sua permeabilidade (EPA, 1990).

A infiltração directa engloba o *StormWater Inflow* (SWI) e o *DryWeather Inflow* (DWI). O SWI é maioritariamente resultante da infiltração indevida de águas pluviais na rede de drenagem. A sua origem diz respeito a ligações erróneas na ligação de sistemas pluviais, privados ou públicos, à rede de drenagem de águas residuais. Este tipo de infiltração acontece apenas com a ocorrência de precipitação, sendo o seu impacto influenciado pela intensidade e duração da mesma (EPA, 1990).

O DWI corresponde ao resultado das afluições indevidas ao sistema de drenagem em tempo seco, isto é, quando não se regista ocorrência de precipitação. Exemplos desta forma de infiltração são as águas de lavagem de arruamentos, cuja afluição ao sistema se deve a tampas defeituosas ou deterioradas; água de refrigeração de equipamentos industriais e comerciais ou actividades a nível privado, cujo escoamento se dirige para a rede de saneamento, ao invés de seguir para a rede pluvial (EPA, 1990).

Apesar de ocorrerem como fenómenos de tempo seco, os índices GWI e DWI são igualmente influenciados pela ocorrência de fenómenos pluviométricos. Nestas alturas, em que não ocorre precipitação, o somatório destas duas componentes resulta no volume total infiltrado. Já em tempo húmido, a infiltração é dada pelo somatório das quatro parcelas referenciadas (EPA, 1990).

5.2.2 Análise de volumes afluentes à estação de tratamento de águas residuais

De forma a aferir a variação de volumes afluentes à ETAR de Sesimbra, a SIMARSUL optou por colocar um medidor de caudal electromagnético à cabeça da estação, marca Danfoss, modelo MAGFOS MAG5000, como exemplifica a Figura 5.6.



Figura 5.6 – Medidor de caudal utilizado na ETAR de Sesimbra

O medidor encontra-se equipado com uma sonda de medição e um processador de sinal. Permite a visualização e programação dos diferentes parâmetros de medição. No caso de se tratar de um local com uma grande variação de temperatura, é possível ligar o processador a uma sonda de temperatura que permita compensar as flutuações de temperatura e, consequentemente, diminuir os erros de medição.

As estações elevatórias da Fortaleza e do Mar estão equipados com o mesmo tipo de medidor de caudal. A SIMARSUL disponibilizou os valores de afluição de caudal à estação de tratamento e à estação elevatória da Fortaleza (que representam 40% do volume total afluente à ETAR), pelo que serão essas que serão analisadas, de forma independente.

Com o intuito de avaliar com maior detalhe a evolução dos volumes de entrada na estação de tratamento, foram utilizados como dados de base os relativos ao período compreendido entre 2009 e 2014. Neste intervalo temporal é possível verificar certas tendências no comportamento das aflúências à ETAR. Apesar da ocorrência de falhas em determinados dias, com maior frequência nas medições efectuadas na estação elevatória da Fortaleza.

No

Quadro 5.10 são apresentados os valores relativos aos volumes de entrada na estação de tratamento de águas residuais e os volumes bombeados pela estação elevatória da Fortaleza durante o ano de 2009.

Quadro 5.10 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e bombeados pela estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2009

Mês	Volume afluente (m ³)		Volume afluente acumulado (m ³)	
	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra
Janeiro	54 579	96 179	54 579	96 179
Fevereiro	31 745	68 895	86 324	165 074
Março	37 640	74 945	123 964	240 019
Abril	42 373	81 116	166 337	321 135
Maio	37 867	76 607	204 204	397 742
Junho	38 571	87 170	242 775	484 912
Julho	34 140	88 925	276 915	573 837
Agosto	33 847	93 770	310 762	667 607
Setembro	26 747	71 585	337 509	739 192
Outubro	29 554	92 369	367 063	831 561
Novembro	30 843	76 627	397 906	908 188
Dezembro	32 547	84 255	430 453	992 443

Como se pode verificar, os volumes afluentes, quer à estação de tratamento, quer à estação elevatória da Fortaleza, descrevem uma tendência crescente aproximadamente linear. De facto, apesar de a precipitação diminuir nos meses de verão, esta é atenuada pela maior afluência humana à região de Sesimbra. O incremento populacional, conjugado com as temperaturas mais altas, faz com que o nível de consumo de água aumente e, consequentemente, haja maior afluência às instalações de tratamento.

Atente-se agora ao ano de 2010, através do Quadro 5.11, apresentado de seguida. Neste ano é visível um decréscimo das aflúências no mês de Fevereiro, seguido de um incremento significativo no mês de Março, no qual o volume de afluência aumenta para mais do dobro (no que à ETAR se refere), quando em comparação com o valor do mês anterior. Este incremento é devido à maior ocorrência de precipitação no terceiro mês do ano, combinado com um mês de Fevereiro atípico, no qual se regista pouca precipitação, de acordo com o atrás apresentado

no Quadro 5.5, relativo aos valores de precipitação no ano civil de 2010. A tendência é menos linear quando comparada com o ano de 2009, em função do atrás referido.

Quadro 5.11 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2010

Mês	Volume afluente (m ³)		Volume afluente acumulado (m ³)	
	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra
Janeiro	45 093	100 622	45 093	100 622
Fevereiro	46 751	55 969	91 844	156 591
Março	70 894	133 133	162 738	289 724
Abril	42 722	85 858	205 460	375 582
Maio	35 367	78 213	240 827	453 795
Junho	32 644	75 442	273 471	529 237
Julho	38 687	86 554	312 158	615 791
Agosto	39 379	99 523	351 537	715 314
Setembro	27 574	74 111	379 111	789 425
Outubro	28 191	78 889	407 302	868 314
Novembro	33 192	84 448	440 494	952 762
Dezembro	37 801	99 107	478 295	1 051 869

Através da observação da tendência dos registos de afluências à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza, é visível um incremento destes valores no mês de Agosto, o que poderá ser explicado pela maior afluência populacional. É de notar, ainda, o crescimento dos valores inerentes ao mês de Dezembro, em relação a Outubro e Novembro, que se ficará a dever, tal como em Março, à ocorrência de precipitação. Nos restantes meses, a tendência de incremento de caudal mantém-se praticamente constante.

O seguinte Quadro 5.12 apresenta a evolução dos caudais afluentes às instalações no ano de 2011.

Quadro 5.12 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2011

Mês	Volume afluente (m ³)		Volume afluente acumulado (m ³)	
	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra
Janeiro	48 224	108 038	48 224	108 038
Fevereiro	37 280	89 502	85 504	197 540
Março	42 285	93 839	127 789	291 379
Abril	38 195	91 985	165 984	383 364
Maio	40 215	89 180	206 199	472 544
Junho	30 439	78 831	236 638	551 375
Julho	34 512	87 886	271 150	639 261
Agosto	38 751	99 036	309 901	738 297
Setembro	25 564	71 271	335 465	809 568
Outubro	24 619	72 287	360 084	881 855
Novembro	25 073	74 653	385 157	956 508
Dezembro	54 552	151 995	439 709	1 108 503

Neste quadro é visível um incremento menos acentuado de afluições à estação de tratamento de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza, quando comparamos o ano de 2011 com os anos de 2009 e 2010. Os maiores realces prendem-se com o decréscimo no mês de Fevereiro em relação ao primeiro mês do ano; com o consumo em Agosto, superior aos meses húmidos (com excepção de Janeiro e Dezembro) e com o incremento para mais do dobro da afluência no mês de Dezembro. Este aumento assume relevância devido ao contraste com o mês de Novembro, no qual se registam valores de precipitação inferiores aos valores médios para este mês.

De seguida, no Quadro 5.13, são apresentados os valores de afluência relativos ao ano de 2012.

Quadro 5.13 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2012

Mês	Volume afluente (m ³)		Volume afluente acumulado (m ³)	
	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra
Janeiro	24 296	68 304	24 296	68 304
Fevereiro	22 459	61 929	46 755	130 233
Março	25 766	70 415	72 521	200 648
Abril	27 473	74 834	99 994	275 482
Maio	26 705	74 025	126 699	349 507
Junho	24 099	67 983	150 798	417 490
Julho	28 635	74 881	179 433	492 371
Agosto	30 795	83 322	210 228	575 693
Setembro	24 482	77 685	234 710	653 378
Outubro	22 755	67 085	257 465	720 463
Novembro	23 935	69 560	281 400	790 023
Dezembro	34 878	79 615	316 278	869 638

No ano de 2012 registaram-se volumes de afluência mais baixos, comparativamente aos verificados nos anos compreendidos no período entre 2009 e 2011. Adicionalmente, constata-se que nos primeiros dois meses do ano, os caudais afluentes à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza são de valor mais baixo, quando comparados com os mesmos meses no período anteriormente analisado (2009-2011). Neste ano de 2012, verifica-se igualmente o incremento de afluências nos meses de Verão, nomeadamente no mês de Agosto.

Quanto ao ano de 2013, verifica-se, mais uma vez, uma subida dos níveis das afluências em relação ao ano anterior. Através da análise do Quadro 5.14 é possível verificar incrementos com algum significado nos meses de Março, Julho e Agosto. Ao contrário do sucedido nos anos anteriores, o mês de Dezembro é o segundo mais baixo em termos do volume afluente à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza.

Quadro 5.14 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2013

Mês	Volume afluente (m ³)		Volume afluente acumulado (m ³)	
	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra
Janeiro	34 609	80 633	34 609	80 633
Fevereiro	33 987	73 013	68 596	153 646
Março	30 251	105 277	98 847	258 923
Abril	43 960	99 384	142 807	358 307
Maio	33 046	79 315	175 853	437 622
Junho	32 959	75 302	208 812	512 924
Julho	38 687	86 554	247 499	599 478
Agosto	40 127	94 030	287 626	693 508
Setembro	31 863	71 943	319 489	765 451
Outubro	27 813	71 987	347 302	837 438
Novembro	26 757	61 548	374 059	898 986
Dezembro	22 674	63 777	396 733	962 763

Finalmente, no ano de 2014 verifica-se uma evolução das afluências distinta da verificada no período compreendido entre os anos de 2009 e 2013. Nesse ano, o mês com maior afluência é o de Maio, no qual há um incremento bastante significativo face aos quatro primeiros meses do ano. Segue-se o mês de Junho com uma quebra no volume de afluências, quer à ETAR de Sesimbra, quer à estação elevatória da Fortaleza. Esta queda no volume afluente à rede assume particular preponderância se for comparada com igual período nos anos precedentes (2010 a 2013) nos quais se regista uma diminuição, não tão significativa, de volume afluente entre Maio e Junho. Seguindo a mesma lógica de anos anteriores, nos meses de Verão regista-se uma nova subida nas afluências, devido ao aumento do consumo de água função do aumento da população flutuante.

No Quadro 5.15 são apresentados os dados de volumes mensais afluentes às instalações, durante o ano de 2014.

Quadro 5.15 – Volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e estação elevatória da Fortaleza durante o ano 2014

Mês	Volume afluente (m ³)		Volume afluente acumulado (m ³)	
	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra	EE Fortaleza	ETAR Sesimbra
Janeiro	32 472	82 702	32 472	82 702
Fevereiro	26 724	82 026	59 196	164 728
Março	36 405	92343	95 601	257 071
Abril	30 887	80 139	126 488	337 210
Maio	58 927	149 958	185 415	487 168
Junho	27 096	68 538	212 511	555 706
Julho	27 923	83 830	240 434	639 536
Agosto	32 648	88 251	273 082	727 787
Setembro	29 567	74 084	302 649	801 871
Outubro	27 389	64 747	330 038	866 618
Novembro	29 544	84 201	359 582	950 819
Dezembro	32 651	69 599	392 233	1 020 418

Numa abordagem mais abrangente, que considera todo o período estudado (2009-2014), é possível estabelecer um padrão de afluências na rede em questão. À ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza afluem caudais de maior dimensão nos períodos de maior ocorrência de precipitação e nos meses nos quais a população servida aumenta, isto é, nos meses de verão, particularmente Julho e Agosto.

5.2.3 Comparação entre volumes totais afluentes à ETAR e valores de precipitação diária

De forma a compreender a relação entre a ocorrência de fenómenos pluviométricos e a eventual infiltração de afluências indevidas, realizou-se uma análise dos valores diários de caudal afluentes à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza, bem como no que se refere aos valores de precipitação diária, no período entre 2009 e 2014.

A primeira etapa para permitir essa análise consiste no cruzamento e triagem dos correspondentes registos. No período entre 2009 e 2014, as séries de dados de afluências à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza possuem algumas falhas de registos. Ainda assim, para o período temporal considerado, os dados de afluências diárias à ETAR de Sesimbra incluem 99% desse período, enquanto os dados inerentes à estação elevatória da Fortaleza correspondem a 98% dos dias considerados.

O posto de previsão meteorológico de Sesimbra (GFS 27 km – projecto *Windguru*) possui todos os dados diários de precipitação entre 2009 e 2014. Para ser possível proceder à comparação com os dados de escoamento disponibilizados pela SIMARSUL, é necessário converter alturas de precipitação em volumes de precipitação. Fazendo o produto dos dados

diários de precipitação pela área da bacia hidrográfica em causa, obteve-se uma série de dados de volume de precipitação diária comparável com os dados de afluências à estação de tratamento e à estação elevatória. A comparação desses conjuntos de resultados é apresentada nas figuras Figura 5.7 e Figura 5.8.

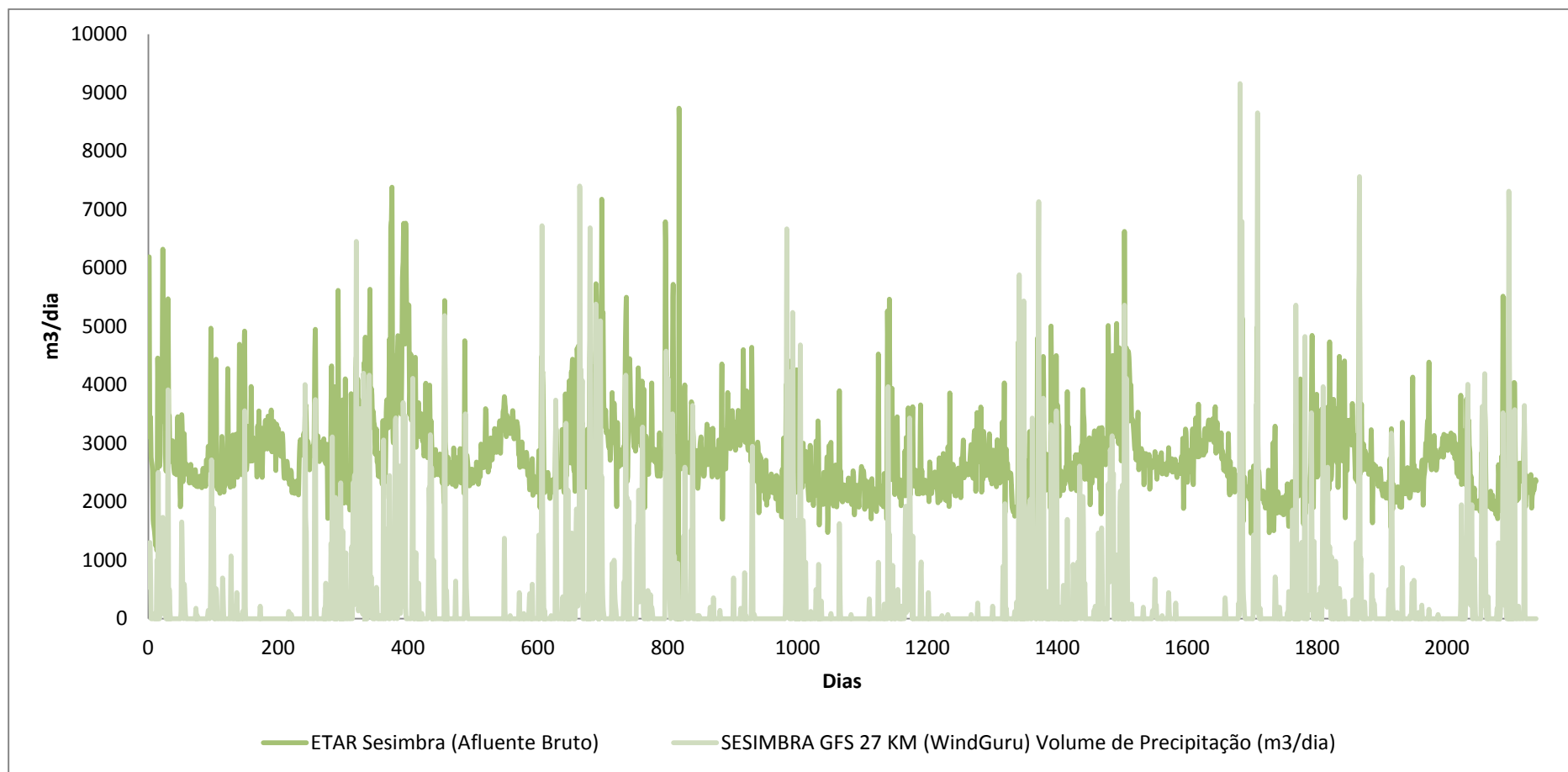


Figura 5.7 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e os volumes afluentes à ETAR de Sesimbra

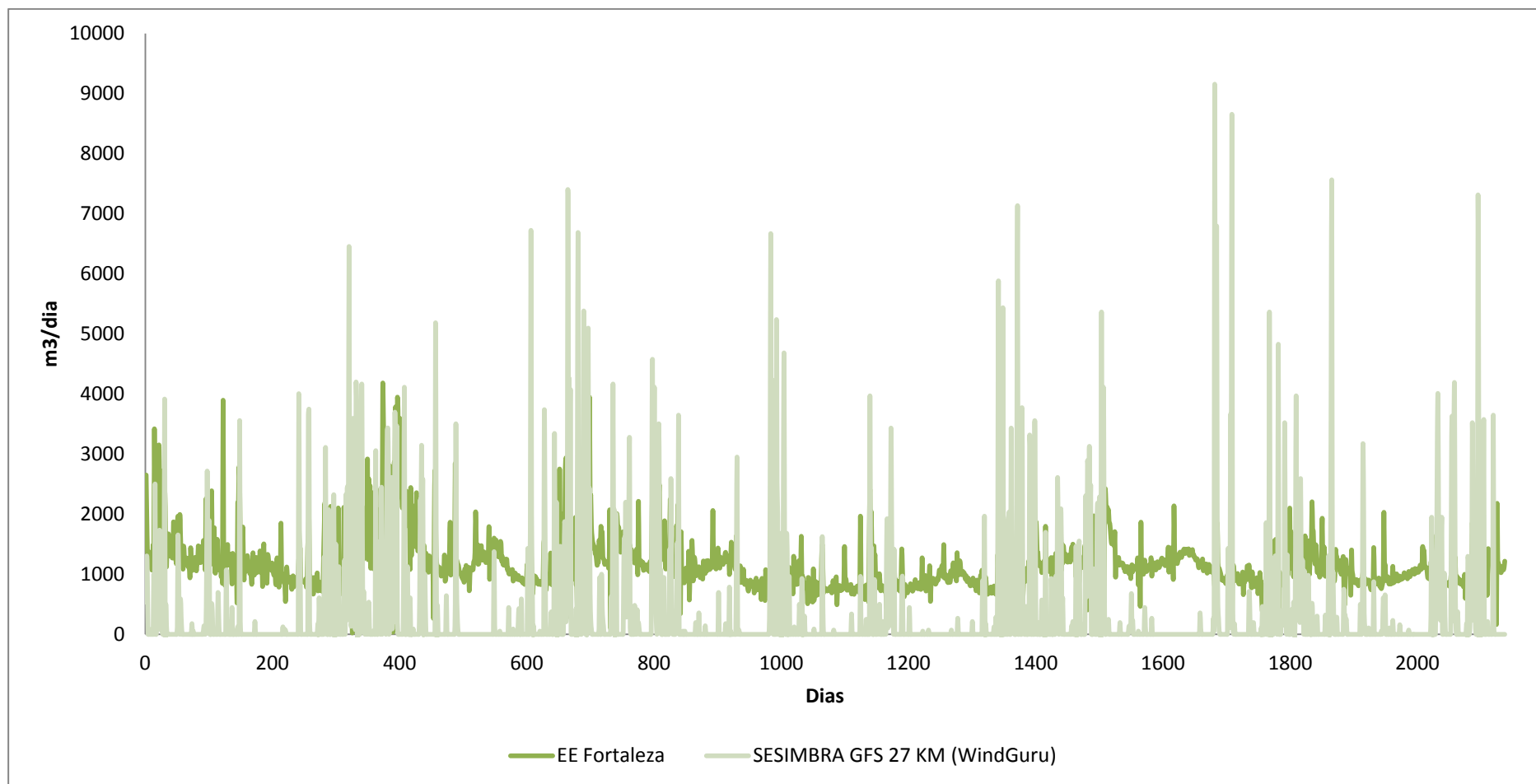


Figura 5.8 - Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e os volumes afluentes à EE da Fortaleza

A análise das figuras Figura 5.7 e Figura 5.8 é inconclusiva devido à influência de factores externos à precipitação na ocorrência de infiltração.

De modo a aferir a possibilidade de serem considerados, bem como comparados, os valores de volumes de precipitação diária e os volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza, foram avaliadas as correlações das três séries temporais, no período entre 2009 e 2014. O quadro seguinte (Quadro 5.16) estabelece as correlações entre a série de dados de volumes de precipitação diária e volumes diários afluentes à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza.

Quadro 5.16 - Resumo da correlação entre a série de dados de volumes de precipitação diária e a ETAR de Sesimbra e entre a série de dados de precipitação diária e a estação elevatória da Fortaleza

Correlação entre série de dados de volumes de precipitação diária e série de dados de caudal	
ETAR Sesimbra (Afluente Bruto)	0,41
EE Fortaleza	0,14

De facto, a região de Sesimbra é caracterizada por uma elevada sazonalidade, o que faz com que os consumos de água aumentem nos meses mais quentes, devido ao incremento na afluência populacional. Assim, do ponto de vista da ocorrência de fenómenos pluviométricos, torna-se complexa a tarefa de decifrar os valores mais elevados de consumo de água quando o volume de precipitação diária é mais reduzido.

Assim, optou-se por segregar as séries de dados, retirando os valores nos dias em que o incremento da afluência ao sistema de drenagem é visivelmente causado pelo aumento do consumo de água, resultando as figuras Figura 5.9 e Figura 5.10 que representam, respectivamente, a relação entre os volumes de precipitação diária e os volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e os volumes de precipitação diária e os volumes afluentes à estação elevatória da Fortaleza.

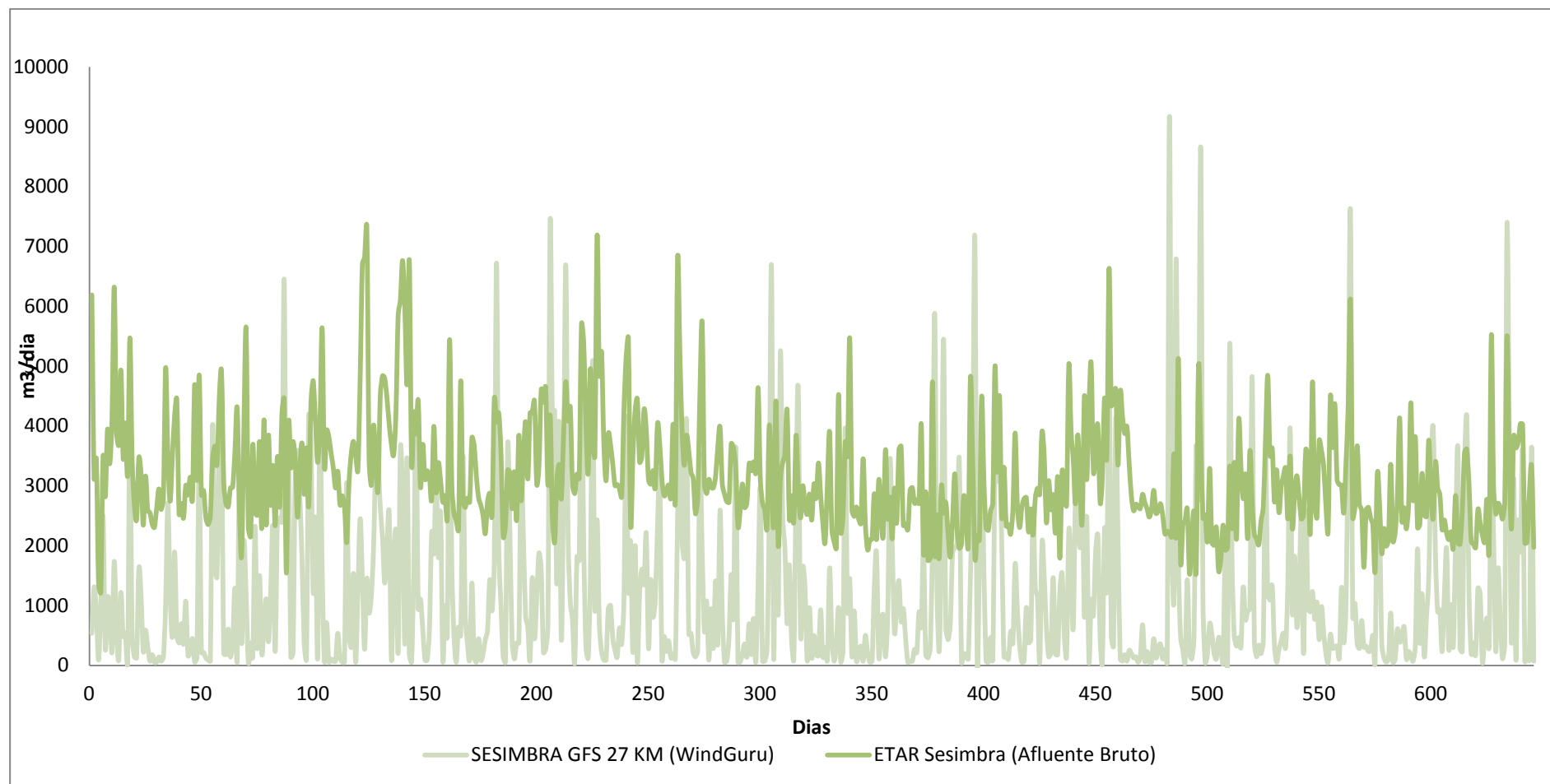


Figura 5.9 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e volumes de afluência à ETAR de Sesimbra, após segregação de dias sem ocorrência de precipitação

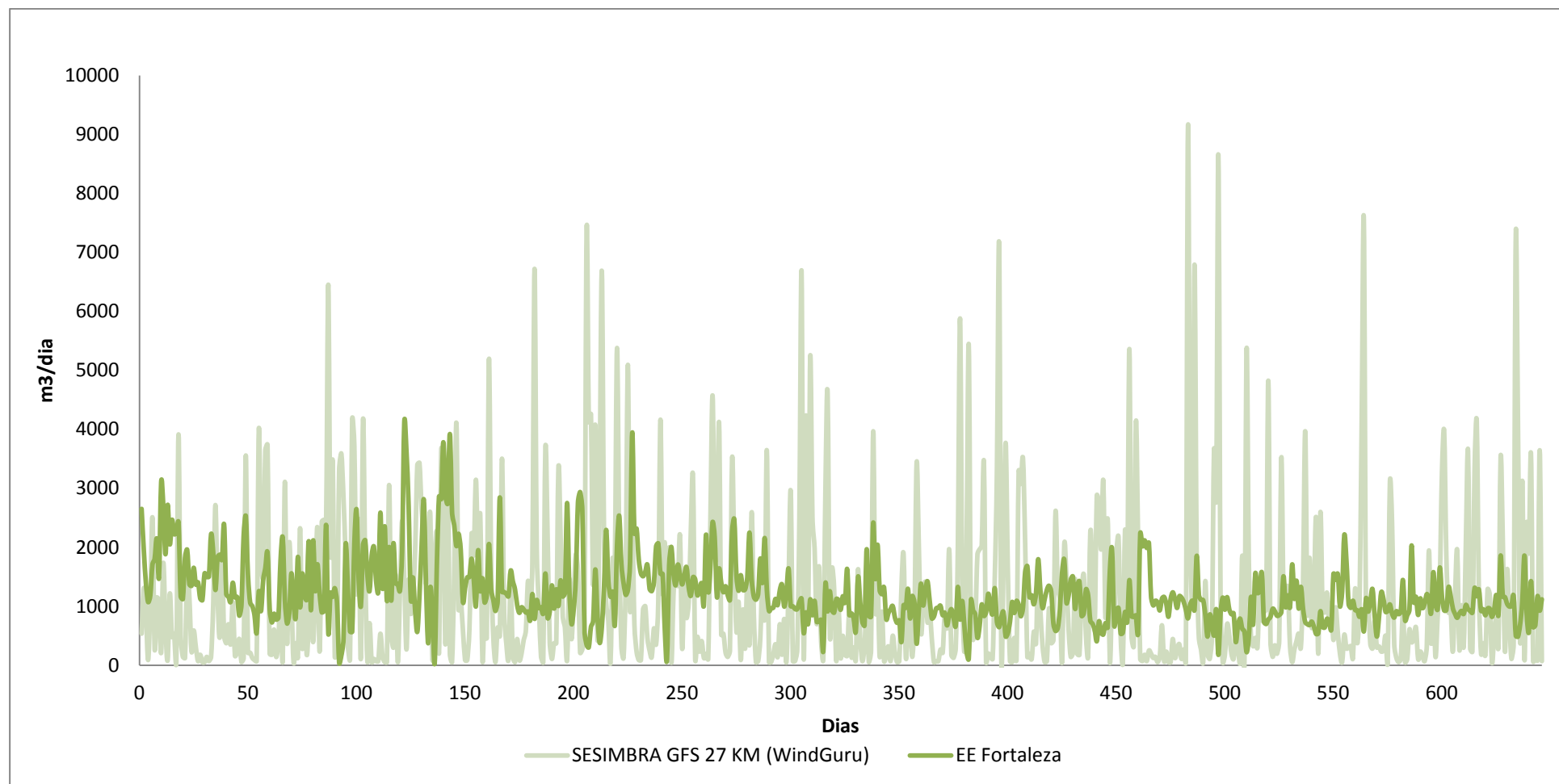


Figura 5.10 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e volumes de afluência à EE da Fortaleza, após segregação de dias sem ocorrência de precipitação

Após a segregação efectuada verifica-se, através da análise de tendências das séries de dados, que o volume diário de precipitação influencia a afluência ao sistema de drenagem. Não obstante, existem picos de precipitação que não são acompanhados pelo aumento das afluências à rede de drenagem. Mais uma vez, os factores externos à precipitação deverão estar na base dessas dissemelhanças, assim como o atraso entre a ocorrência de precipitação e ocorrência de infiltração directa na rede de drenagem.

De modo a quantificar a conformidade entre a série de dados de volumes de precipitação diária com os dados de afluência, quer à ETAR de Sesimbra, quer à estação elevatória da Fortaleza, foram calculadas os coeficientes de correlação entre as referidas séries, à semelhança do efectuado no Quadro 5.16. No entanto, estes cálculos foram realizados considerando a segregação de dados previamente efectuada, ou seja, considerando apenas os dias nos quais se regista a ocorrência de precipitação. O quadro seguinte (Quadro 5.17 – Resumo da correlação entre a série de dados de volumes de precipitação diária e a ETAR de Sesimbra e entre a série de dados de precipitação diária e a estação elevatória da Fortaleza) apresenta os resultados deste procedimento.

Quadro 5.17 – Resumo da correlação entre a série de dados de volumes de precipitação diária e a ETAR de Sesimbra e entre a série de dados de precipitação diária e a estação elevatória da Fortaleza, considerando apenas dias com ocorrência de precipitação

Correlação entre série de dados de volumes de precipitação diária e série de dados de caudal nos dias em que ocorre precipitação	
ETAR Sesimbra (Afluente Bruto)	0,60
EE Fortaleza	0,31

Posteriormente à análise global, correspondente ao período entre o ano de 2009 e de 2014, foi realizada uma avaliação anual, com a tentativa de aferir a “correlação” entre os volumes de precipitação e a afluência total à rede de drenagem.

Para essa análise, foi considerado o ano mais húmido da série estudada (2010), relativamente ao qual a probabilidade de existirem discrepâncias entre os valores das séries de registos será, pelo menos em teoria, menor. Após a segregação dos dias com registos de precipitação nula, e cruzando os dados de volumes de precipitação diária e afluência total à ETAR de Sesimbra, no ano civil de 2010, resulta a Figura 5.11. A Figura 5.12 espelha o mesmo processo, mas cruzando os dados de volume de precipitação diária e a afluência total à estação elevatória da Fortaleza, no ano civil de 2010.

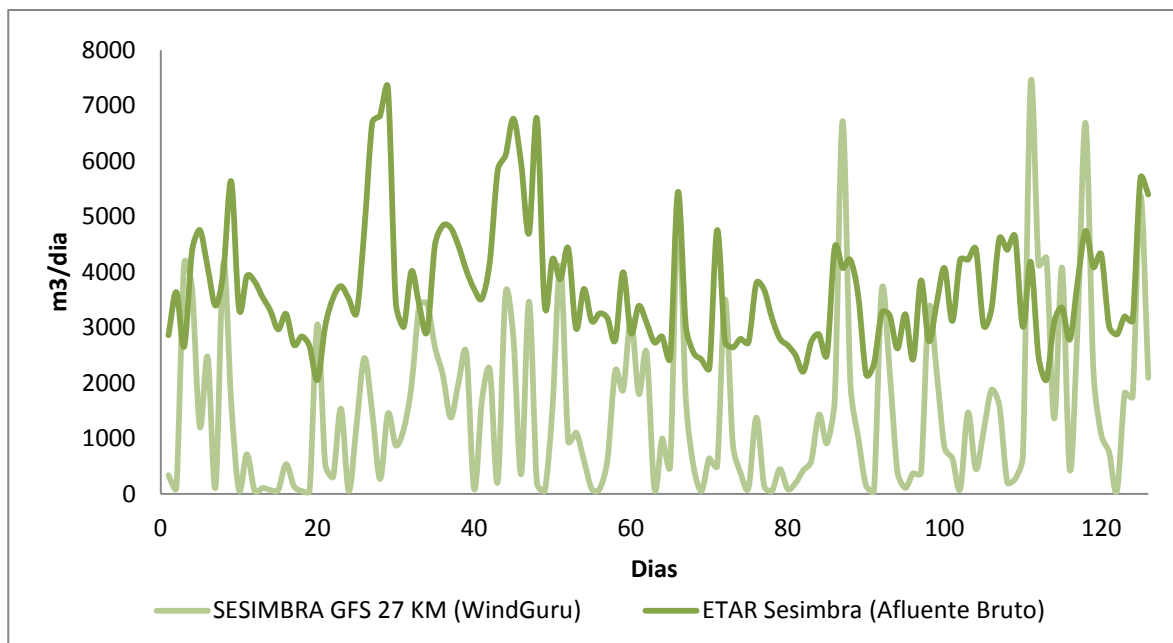


Figura 5.11 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e os volumes de afluência à ETAR de Sesimbra, após segregação de dias sem ocorrência de precipitação, no ano de 2010

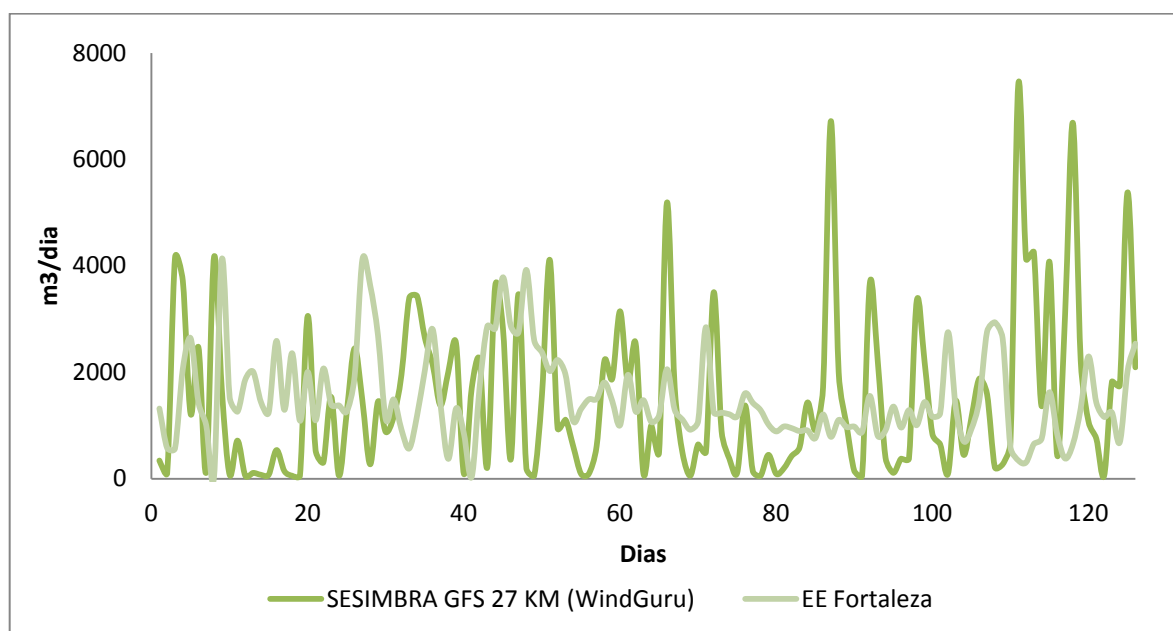


Figura 5.12 – Comparação entre os valores dos volumes de precipitação diária e os volumes de afluência à ETAR de Sesimbra, após segregação de dias sem ocorrência de precipitação, no ano de 2010

Após a representação gráfica das séries de dados de volumes de precipitação diária e afluência diária à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza no ano de 2010, foi realizado o mesmo processo para averiguar as correlações entre as séries de dados, para o ano de 2010, que o representado, anteriormente, no Quadro 5.17. Os resultados obtidos estão resumidos no Quadro 5.18.

Quadro 5.18 – Resumo da correlação entre a série de dados de volumes de precipitação diária e a ETAR de Sesimbra e entre a série de dados de precipitação diária e a estação elevatória da Fortaleza considerando apenas com ocorrência de precipitação, para o ano de 2010

Correlação entre série de dados de volumes de precipitação diária e série de dados de caudal nos dias em que ocorre precipitação, no ano de 2010	
ETAR Sesimbra (Afluente Bruto)	0,70
EE Fortaleza	0,39

Através da análise dos quadros anteriores (Quadro 5.16, Quadro 5.17 e Quadro 5.18) verifica-se que, após consideração dos dias nos quais ocorre precipitação, as correlações entre os valores dos volumes de precipitação diária e os volumes afluentes, quer à ETAR de Sesimbra, quer à estação elevatória da Fortaleza, aumentam quando comparando, para o mesmo período (2009-2014), com as séries de dados completas, isto é, considerando também os dias nos quais não ocorre precipitação. Balizando essa informação, verifica-se para o ano de 2010 – o mais húmido do período temporal considerado – as correlações entre as séries de dados voltam a aumentar.

Conclui-se que existe correlação entre a série de dados de volume de precipitação diária e as séries de volumes afluentes à ETAR de Sesimbra e à estação elevatória da Fortaleza, especialmente se considerados apenas dias com ocorrência de precipitação.

5.3 Análise da influência da precipitação no sistema de drenagem

A recomendação n.º 04/2007 do IRAR (actualmente ERSAR) reitera a necessidade de desagregar a componente do volume pluvial, resultante da infiltração pela ocorrência de precipitação, do volume total afluente às estações de tratamento de águas residuais. Esta distinção de volumes permite uma melhor gestão de investimentos na redução de aflúências indesejáveis e consequente preservação das infraestruturas de drenagem e de tratamento.

O IRAR apresenta, nessa recomendação, uma metodologia que permite estimar, com relativa robustez, a contribuição de volumes afluentes de origem pluvial para o caudal de água residual, através da diferença entre os volumes registados em tempo de chuva e valores estimados para condições de referência em tempo seco.

Para executar a separação entre volumes pluviais e volumes domésticos afluentes aos sistemas de drenagem, foram considerados os dados de caudal afluente disponibilizados pela SIMARSUL e os dados de precipitação diária do projecto *WindGuru*. Para a definição de tempo seco foram considerados todos os dias entre o período de 2009 e 2014 nos quais não ocorreu precipitação. Quanto à definição de tempo húmido foram considerados, para o mesmo período, os dias em que a precipitação diária registada foi superior a 0 mm. Tal como é proposto na metodologia da recomendação n.º 04/2007 do IRAR, de modo a aferir a contribuição da componente pluvial, foi

considerado um período mínimo de 10 dias de tempo seco, isto é, utilizou-se o valor médio diário do último período contínuo de tempo seco com uma duração mínima de 10 dias.

Outro pressuposto foi a consideração do pior cenário possível, face à ausência de dados mais concretos. Desse modo, considera-se que toda a precipitação aflui ao sistema de drenagem, de modo a estabelecer a relação entre a ocorrência de eventos pluviométricos e a sua influência no desempenho do sistema de drenagem.

Para o cálculo dos volumes afluentes à ETAR em dias de chuva, e com o intuito de proceder à separação da componente pluvial, foi utilizada a formulação apresentada na secção 3.8.1.1.

No Quadro 5.19 apresentam-se os resultados obtidos mensalmente, para o período analisado entre os anos de 2009 e 2014.

Quadro 5.19 – Volumes pluviais e totais afluentes à ETAR de Sesimbra

Mês	2009		2010		2011		2012		2013		2014	
	Volume Pluvial Afluyente (m ³)	Volume Total Afluyente (m ³)	Volume Pluvial Afluyente (m ³)	Volume Total Afluyente (m ³)	Volume Pluvial Afluyente (m ³)	Volume Total Afluyente (m ³)	Volume Pluvial Afluyente (m ³)	Volume Total Afluyente (m ³)	Volume Pluvial Afluyente (m ³)	Volume Total Afluyente (m ³)	Volume Pluvial Afluyente (m ³)	Volume Total Afluyente (m ³)
Janeiro	39 591	101 981	16 350	100 622	39 085	108 038	5102	95 415	12 891	80 633	26 337	82 702
Fevereiro	11 839	72 360	31 914	55 969	28 170	89 502	2862	86 659	7 464	73 013	31 175	82 026
Março	1 379	77 183	46 837	133 133	25 693	93 839	9276	101 148	32 492	105 277	26 506	92 343
Abril	12 684	84 208	5 469	85 858	28 751	91 985	16 095	107 085	23 254	99 384	4 044	80 139
Maio	7 764	80 885	5 443	78 213	9 511	89 180	10 812	103 884	1 082	79 315	1 744	149 958
Junho	14 447	89 804	4 160	75 442	2 339	78 831	3 476	95 970	884	75 302	4 483	68 538
Julho	6 461	91 810	9 188	86 554	7 469	87 886	5 384	106 838	6 962	86 554	7 544	83 830
Agosto	3 612	96 370	14 908	99 523	13 283	99 036	6 139	115 946	8 565	94 030	3 201	88 251
Setembro	3 751	74 503	231	74 111	0,0	71 271	3 731	105 554	1 394	71 943	2 772	74 084
Outubro	14 077	95 393	11 274	78 889	7 103	72 287	4 754	92 767	9 149	71 987	1 624	64 747
Novembro	7 114	78 750	19 223	84 448	15 164	74 653	9 700	95 311	3 331	61 548	20 057	84 201
Dezembro	10 304	87 964	30 452	99 107	6 933	151 995	13 157	120 174	6 623	63 777	1 514	69 599

Considerando os valores acima descritos, pode verificar-se uma contribuição da ocorrência de eventos pluviométricos, nomeadamente nos meses do semestre húmido. No semestre seco, particularmente nos meses de Julho e Agosto, verificam-se valores elevados no que concerne ao volume total afluente à ETAR de Sesimbra, devido à reconhecida sazonalidade populacional da região e à afluência da população flutuante.

O registo de volume pluvial afluente ao sistema durante estes meses merece uma análise mais cuidada. De facto, existem meses nos quais não ocorre precipitação (ver quadros 5.4 a 5.9) mas, ainda assim, no Quadro 5.19 – Volumes pluviais e totais afluentes à ETAR de Sesimbra são apresentados valores de caudais de infiltração para esses meses, o que, numa primeira análise, não parece fazer sentido. No entanto, e tal como referido na secção 3.6.2, a influência de eventos de precipitação na ocorrência de caudais de infiltração pode decorrer durante um espaço temporal alargado, dependendo das características do solo e do declive dos terrenos. Apesar disso, não seria expectável valores tão elevados de caudais de infiltração nos meses mais secos. Esta situação vem reforçar o carácter conservativo da abordagem utilizada que pode tender para a maximização dos valores estimados para os caudais de infiltração. A consideração de uma abordagem metodológica assente em diferentes pressupostos, que só será possível vir a efectuar face à disponibilidade de registos mais fiáveis e, sobretudo, com um melhor conhecimento do terreno, deverá conduzir a valores mais aderentes à realidade e a volumes mais baixos de caudais de infiltração, o que, mais uma vez, reflecte o carácter conservativo da abordagem metodológica utilizada no presente trabalho.

De forma a ser perceptível a relação existente entre a ocorrência de precipitação, com consequente afluência ao sistema de drenagem, e o incremento de volume afluente ao mesmo, foram comparados os valores de volume de precipitação mensal e volume total afluente à ETAR de Sesimbra no ano de 2010. Foi escolhido este ano por representar, no período temporal entre 2009 e 2014, o maior volume de precipitação total anual e, por esse motivo, poder constituir o caso mais desfavorável na ocorrência de infiltrações.

A Figura 5.13 permite a visualização do processo acima referido, representando o volume pluvial que aflui à rede de drenagem e o volume total afluente ao sistema de drenagem.

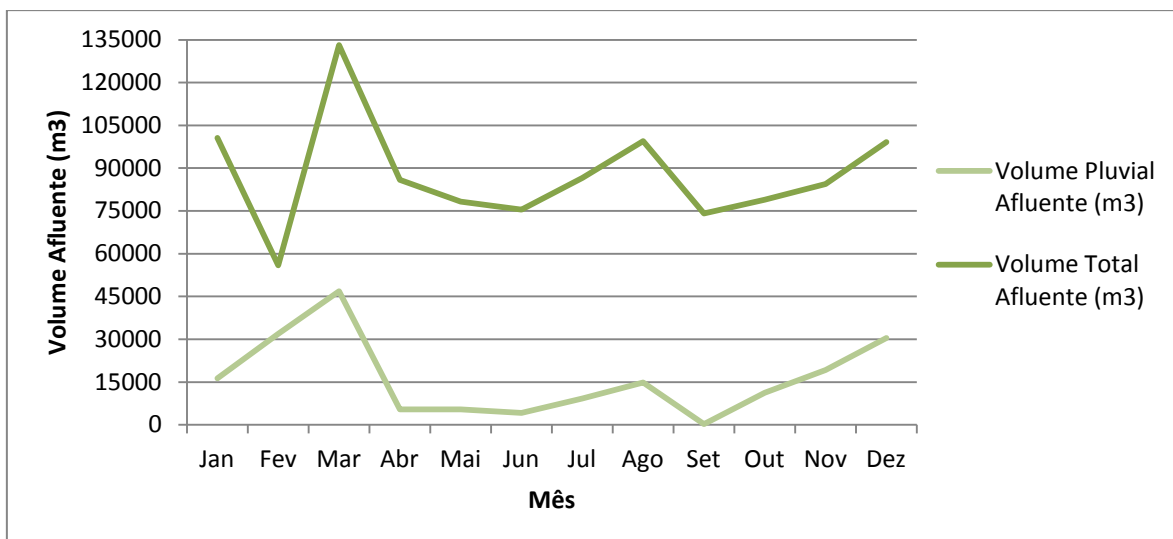


Figura 5.13 – Representação gráfica do volume pluvial afluyente ao sistema de drenagem de Sesimbra, no ano de 2010

Através da análise gráfica da Figura 5.13 – Representação gráfica do volume pluvial afluyente ao sistema de drenagem de Sesimbra, no ano de 2010, verifica-se que o volume de precipitação possui relativa influência no aumento substancial do volume total escoado na rede de drenagem. Novamente, e de acordo com o atrás referido, importa salientar que a metodologia utilizada para quantificar os caudais de infiltração afluentes ao sistema de drenagem tende a majorar esses valores, pelo que, apesar da existência de vários períodos temporais, mais ou menos longos, sem precipitação, a água armazenada no solo pode contribuir para o aumento desses caudais de infiltração durante num período temporal relativamente alargado.

Para melhor evidenciar a influência do volume de precipitação sobre o volume total escoado, surge o Quadro 5.20, no qual é calculada a razão entre volume pluvial afluyente e o volume total afluyente. Denote-se que, para cálculo da média de meses húmidos e meses secos se considerou a seguinte caracterização:

- Meses Húmidos – Janeiro, Fevereiro, Março, Outubro, Novembro e Dezembro
- Meses Secos – Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro

Quadro 5.20 – Razão entre volumes pluviais e volumes totais, mensais, afluentes ao sistema de drenagem

Mês	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Janeiro	39%	16%	36%	5%	16%	32%
Fevereiro	16%	57%	31%	3%	10%	38%
Março	2%	35%	27%	9%	31%	29%
Abril	15%	6%	31%	15%	23%	5%
Maio	10%	7%	11%	10%	1%	1%
Junho	16%	6%	3%	4%	1%	7%
Julho	7%	11%	8%	5%	8%	9%
Agosto	4%	15%	13%	5%	9%	4%
Setembro	5%	0%	0%	4%	2%	4%
Outubro	15%	14%	10%	5%	13%	3%
Novembro	9%	23%	20%	10%	5%	24%
Dezembro	12%	31%	5%	11%	10%	2%
Média Meses Húmidos	15%	29%	22%	7%	14%	21%
Média Meses Secos	9%	7%	11%	7%	8%	5%

Através da análise dos dados acima referenciados, pode aferir-se que a influência da precipitação no desempenho do sistema de drenagem é evidente, particularmente nos meses mais chuvosos, como é caso de Fevereiro de 2010. Apesar de terem sido analisados valores mensais, com respectivas médias, não se deve deixar de considerar um cenário diário, no qual será possível obter uma informação mais concreta sobre o impacto da precipitação de curta duração no desempenho do sistema de drenagem.

A repetir-se com maior frequência, o cenário de um percentual de água pluvial superior à metade do volume total afluente, poderá significar uma pressão significativa para o sistema de drenagem em estudo. Tal facto assume maior preponderância quando é sabido que na ocorrência de eventos pluviométricos e, no caso da ETAR de Sesimbra e da estação elevatória da Fortaleza, a SIMARSUL é obrigada a descarregar o volume afluente a esta última infraestrutura directamente para o meio receptor. Sendo a rede maioritariamente unitária, recomenda-se uma maior análise dos pontos críticos da rede. A existência de um exutor submarino, colocado a 800 metros da costa, que confere uma certa segurança à realização de descargas, permite uma maior flexibilidade na gestão dos volumes excedentários. No entanto, tendo em conta os valores calculados através da metodologia apresentada, seria aconselhável estudar e equacionar a colocação de colectores pluviais nesses mesmos pontos, tornando a rede pseudo-separativa.

5.4 Comparação entre volumes de facturação: estabelecimento de um cenário de tratamento separativo

De modo a concretizar a influência da ocorrência de aflúências indevidas na vertente económica e administrativa de um sistema de drenagem de águas residuais, torna-se importante analisar os custos do tratamento dos volumes de modo separativo.

De facto, atendendo que a rede estudada é maioritariamente unitária, com dificuldades relatadas em escoar volumes excedentários, é necessário averiguar a eventual despesa que a entidade gestora assume com o “tratamento desnecessário” de água pluvial.

Os resultados obtidos nesta secção suportam-se num custo estimado de 0,08 € por m³ de água tratada, inferior ao valor da tarifa do sistema. Embora não tenha sido encontrada uma referência relativamente a este valor, o mesmo foi considerado como plausível para suportar uma análise preliminar e simples, como a que foi realizada no âmbito da presente secção.

Relativamente ao custo de tratar água pluvial em conjunto com água residual doméstica, o Quadro 5.21 quantifica o encargo levado a cabo pela SIMARSUL no caso apresentado:

Quadro 5.21 – Diferença de custos entre tratamento unitário (doméstico e pluvial) e tratamento separativo (apenas efluente doméstico)

Ano	Diferença de Custo Total
2009	10 642 €
2010	15 636 €
2011	14 680 €
2012	7 239 €
2013	9 127 €
2014	10 480 €
TOTAL	67 804 €

Na óptica da entidade gestora, é possível afirmar-se que, no caso estudado, a influência da presença de caudais indevidos afluentes ao sistema de drenagem por intermédio da ocorrência de precipitação não assume proporções problemáticas a nível financeiro, se for considerado o volume total de facturação da SIMARSUL. Mesmo ao nível ambiental, no caso particular do subsistema de Sesimbra, os impactes são reduzidos, dado que a percentagem de água que aflui ao sistema não é muito significativa na maioria do ano e, nos períodos de maior pluviosidade, que possam efectivamente obrigar à descarga de águas residuais directamente no meio recetor, o grau de diluição é elevado, em função da existência e dimensionamento dos exdutores submarinos., Independentemente deste aspeto, as entidades gestoras envolvidas no saneamento de Sesimbra trabalham em conjunto para a melhoria da separação das redes de drenagem,

Na óptica do cliente responsável pelo custo do serviço prestado pela entidade gestora, será interessante tentar obter o preço mais justo possível pelo tratamento de água residual. A recomendação n.º 04/2007 do IRAR (actualmente ERSAR) assume um novo estabelecimento de tarifas baseado nestes pressupostos, entre os quais se encontra a separação entre volumes pluviais e domésticos afluentes ao sistema de drenagem de águas residuais. De modo a tornar estes valores mais justos, foi realizada uma análise, baseada nos valores de caudal afluente à rede de drenagem disponibilizados pela SIMARSUL, que permita concluir sobre a influência do volume pluvial nos volumes totais de facturação a aplicar aos consumidores. Desta análise resulta a Figura 5.14. De

notar que o Volume Total Facturado corresponde ao volume total afluente e medido na ETAR e o Volume Doméstico corresponde ao volume total afluente, ao qual é subtraída a parcela estimada de infiltração.

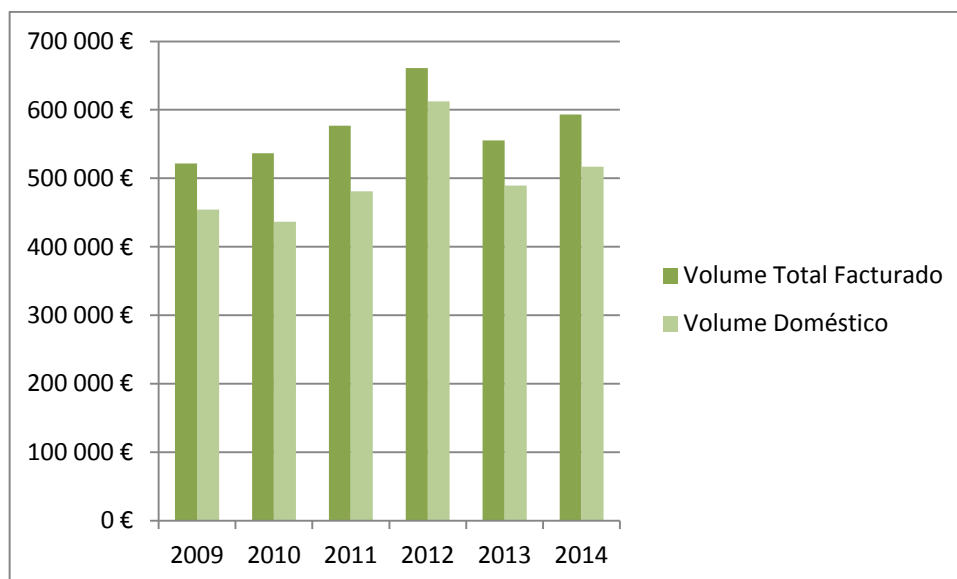


Figura 5.14 – Análise entre volume total facturado e volume doméstico

A base para a realização desta comparação são as medições efectuadas pela SIMARSUL através da utilização de um caudalímetro à entrada da ETAR de Sesimbra. Registe-se que até 2014 a empresa facturou , de acordo com o previsto no Contrato de Comcessão, assinado com os Municípios, com base em caudais mínimos,. A avaliação prende-se com valores de caudal reais em detrimento da facturação através de caudais mínimos, aplicando a metodologia sugerida na recomendação n.º 04/2007 do IRAR (actualmente ERSAR). O Quadro 5.22 revela a diferença entre o volume de facturação total e o correspondente volume de águas residuais.

Quadro 5.22 – Diferença de facturação entre volumes totais reais e volumes domésticos reais

Mês	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Janeiro	20 033 €	8 338 €	20 332 €	2 750 €	7 433 €	15 307 €
Fevereiro	5 990 €	16 276 €	14 654 €	1 543 €	4 304 €	18 119 €
Março	698 €	23 887 €	13 365 €	4 999 €	18 735 €	15 405 €
Abril	6 418 €	2 789 €	14 956 €	8 674 €	13 408 €	2 350 €
Maio	3 928 €	2 776 €	4 948 €	5 827 €	624 €	1 014 €
Junho	7 310 €	2 122 €	1 217 €	1 873 €	510 €	2 605 €
Julho	3 269 €	4 686 €	3 886 €	2 902 €	4 015 €	4 384 €
Agosto	1 827 €	7 603 €	6 910 €	3 308 €	4 939 €	1 861 €
Setembro	1 898 €	118 €	0 €	2 011 €	804 €	1 611 €
Outubro	7 123 €	5 750 €	3 695 €	2 562 €	5 275 €	944 €
Novembro	3 600 €	9 804 €	7 888 €	5 227 €	1 921 €	11 657 €
Dezembro	5 214 €	15 530 €	3 606 €	7 090 €	3 819 €	880 €
TOTAL ANUAL	67 309 €	99 678 €	95 456 €	48 765 €	65 785 €	76 138 €

Através desta diferença, é possível quantificar o volume de água pluvial que aflui ao subsistema. Poder-se-á analisar a questão do ponto de vista económico e concluir-se que a diferença não é significativa, porque, considerando uma população de 22 957 habitantes (freguesias de Castelo e Santiago), dos quais apenas 14 463 são habitantes permanentes da vila, resulta o seguinte custo anual acrescido a cada habitante (Quadro 5.23):

Quadro 5.23 – Diferença de preço entre saneamento do volume total e volume doméstico anual por habitante

Ano	Custo por habitante (€/hab.ano)
2009	2,93
2010	4,34
2011	4,16
2012	2,12
2013	2,87
2014	3,32
TOTAL	19,74

A diferença de preço cobrado referente ao saneamento do volume total de águas residuais e volume total de afluência doméstica é, como se pode verificar, de baixa expressão, se analisada anualmente e reflectida por habitante residente do concelho de Sesimbra. De facto, a facturação do volume de afluência doméstica diferenciada do volume total afluente é, do ponto de vista financeiro, prejudicial para a entidade gestora, que factura, actualmente, um valor superior àquele que seria o mais justo, na óptica do consumidor.

No entanto, as tarifas aplicadas pelas entidades gestoras dos sistemas de saneamento público não espelham o verdadeiro custo do tratamento de águas residuais urbanas, devido a factores como os

aqui apresentados. Este factor faz com que os balanços económico-financeiros das empresas responsáveis pela gestão de redes de saneamento sejam altamente deficitários, resultando nas constantes reformas que caracterizam o sector de águas, saneamento e resíduos.

Esta diferença, que assume uma parcela negativa se analisada do ponto de vista da entidade gestora, dificulta o estabelecimento de medidas que permitam a melhoria do sistema de drenagem e, mais concretamente, a opção por uma rede pseudo-separativa, em detrimento de uma rede unitária que implique o tratamento desnecessário da componente pluvial do volume total que afluí às instalações de tratamento, embora como se demonstrou anteriormente a percentagem de infiltração neste subsistema (Sesimbra) se encontra abaixo de alguns valores tomados como referência.

De referir que as conclusões acima mencionadas estão sujeitas à análise desenvolvida, assente em pressupostos que majoram todo o processo, como a infiltração total dos volumes de precipitação diários ocorrentes no período de 2009 a 2014. Deve ser igualmente referido que a metodologia adoptada no presente trabalho se baseia na facturação de caudais reais, disponibilizados pela SIMARSUL e não aos valores efectivamente facturados, dado que durante o período em apreço, a Concessionária e os Municípios utilizavam, de acordo com o definido no Contrato de Concessão, a facturação através dos denominados “caudais mínimos”, não considerados no presente trabalho.

Na admissão do pior cenário possível, para o período de 2009 a 2013, ocorreria uma contribuição pluvial no volume total afluente ao sistema de drenagem, com conseqüente incremento de volume a ser facturado ao município. Coloca-se um novo cenário, embora hipotético, da separação entre volume pluvial e volume doméstico afluentes à ETAR de Sesimbra que, obrigatoriamente, se iriam traduzir em menores volumes para tratamento e, conseqüentemente, menores volumes a serem facturados.

O estabelecimento de novos métodos de tarifação, aconselhado pelo IRAR (actual ERSAR), na sua recomendação n.º 04/2007 é, ainda hoje, pouco claro, tendo decorrido cerca de oito anos desde a sua publicação. Apesar de não ser o cerne do presente trabalho, é recomendável uma análise mais profunda sobre este tema, sendo igualmente relevante a equação de um novo sistema de tarifas que reflecta o real custo do tratamento de efluentes, podendo incluir a construção de uma rede pseudo-separativa.

Os encargos financeiros inerentes à entrada de caudais de infiltração num sistema de drenagem de águas residuais, pode ser dividido em custos operacionais e de manutenção e custos de investimento (como referido no Capítulo 3). No entanto, seria necessário um estudo muito detalhado para aferir especificamente a contribuição de cada uma destas parcelas. A segregação na administração da rede em “baixa” com a rede em “alta” facilita a compreensão acerca do peso financeiro que as afluências indevidas representam para a entidade gestora da rede em “baixa”. Considerando o custo de 0,08 € por m³ de água residual tratada, atrás referido, torna-se interessante verificar o potencial custo com o tratamento de água pluvial afluente ao sistema de drenagem, obedecendo aos pressupostos previamente apresentados para a realização deste estudo (ver Quadro 5.24).

Quadro 5.24 – Custo anual do tratamento de águas pluviais afluentes ao sistema de drenagem

Ano	Volume Pluvial Afluente (m³)	Custo (0,08 €/m³)
2009	133 021	10 641,70 €
2010	195 447	15 635,79 €
2011	183 499	14 679,92 €
2012	90 490	7 239,23 €
2013	114 092	9 127,34 €
2014	131 002	10 480,14 €
TOTAL	847 552	67 804,12 €

Apesar de os anos em análise serem considerados anos “secos” e do custo do tratamento do m³ ser relativamente baixo, comparativamente com outras entidades gestoras, a despesa relacionada com o tratamento de águas pluviais deve ser considerada na análise global do investimento necessário à separação dos caudais pluviais, que no subsistema em apreço são quase na totalidade provenientes da rede “em baixa”, dado que a maioria da rede “em alta” está em pressão gravítica.

Para se evitar os custos inerentes ao tratamento de volumes pluviais afluentes ao sistema de drenagem de águas residuais, teria que se equacionar a separação da rede, permitindo que os caudais fossem escoados para órgãos de retenção de águas pluviais ou directamente para o meio receptor.

Sendo o caso de estudo composto por uma rede unitária, embora com uma parte significativa pseudo-separativa, coloca-se em causa a construção de uma rede paralela a toda a rede domiciliária, que transporte apenas volumes pluviais. Contudo, não será expectável admitir a construção de uma rede de drenagem financeiramente apoiada nos valores apresentados.

6 PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO

6.1 Orientação para a minimização de infiltrações

O efeito das infiltrações num sistema de drenagem urbana tem sido objecto de foco ao longo de todo o presente trabalho. Os correspondentes prejuízos, associados a factores como a deterioração das condutas ou redução do desempenho no tratamento de águas residuais, confere um carácter de prioridade à tomada de medidas que permitam a redução do caudal de infiltração.

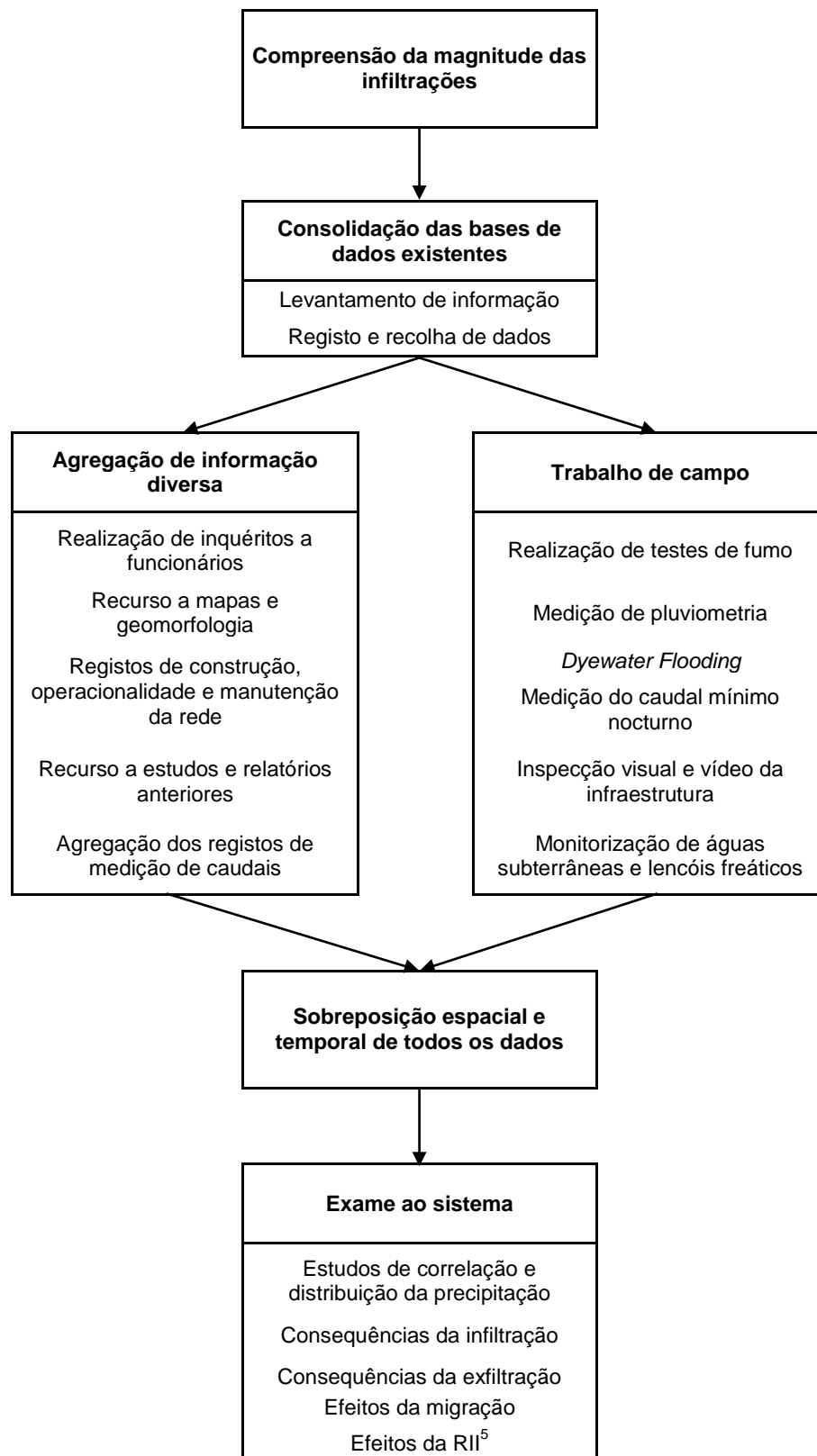
As mais-valias associadas à redução de caudal infiltrado são transversais e proporcionais à responsabilidade e sustentabilidade, quer de foro financeiro, quer ambiental, de uma entidade gestora. A diminuição de infiltrações conduz, ainda, à redução de encargos de exploração, através do aumento do rendimento do sistema, o que minimiza riscos na gestão e aumenta a sustentabilidade da empresa. A optimização de tarifas e a reabilitação ao nível financeiro, com consequente criação de um ciclo virtuoso serão os objectivos finais da redução de afluências indevidas.

A infiltração toma frequentemente valores de uma percentagem do caudal de projecto o que, por si só, não revela robustez suficiente para evitar os problemas a esta associados. Os constrangimentos espaciais, topográficos, geológicos, entre outros, dificultam a intenção de se desviar a rede de focos propícios em provocar infiltrações de águas parasitas, o que reforça a importância de realizar uma estimativa concreta dos caudais em excesso, englobando-os no caudal de dimensionamento e desenhando uma estrutura capaz de minimizar a entrada em carga dos colectores (Zhang, 2005).

Posteriormente à construção do sistema de saneamento, torna-se mais difícil a tarefa de diminuir a entrada de caudais de infiltração na rede de drenagem. Contrariamente ao que é verificado em sistemas de abastecimento de água, nos quais existe quantificação do caudal na captação, na saída do tratamento, na adução, nos reservatórios, nas zonas de medição e controlo (ZMC)⁴ e nos contadores associados a cada cliente, nos sistemas de águas residuais não existe o mesmo nível de controlo no que a medições se refere, dificultando a obtenção de valores associados à determinação de caudais de infiltração. Nos sistemas de drenagem, a verdadeira contabilização ocorre apenas à entrada das ETAR, não existindo mais nenhum ponto da rede no qual se quantifique, de modo objectivo e regular, o caudal de águas residuais drenado. Esta situação torna mais difícil a redução da infiltração nas redes de drenagem do que a redução das perdas nas redes de abastecimento, devido à diferença existente ao nível dos caudais medidos em cada uma dessas redes. No entanto, não é exequível equacionar a colocação de caudalímetros nas tubagens que ligam cada cliente à rede de drenagem. Ao invés dessa dispendiosa e utópica medida, deverá ser equacionado o incremento progressivo do número de equipamentos de medição em diferentes secções da rede de drenagem.

⁴ Segundo Pereira (2012), as ZMC resultam da divisão da rede de distribuição de água, por parte das entidades gestoras, em zonas devidamente identificadas e delimitadas que permitam a execução de um balanço de caudais, através do controlo de entradas e saídas de água. Esse balanço de caudais permite, *a posteriori*, estimar o comportamento de consumos ao longo da rede, bem como aferir as perdas num sistema de abastecimento de água.

Uma sequência de trabalhos com o intuito de minimizar afluições indevidas até à fase de reabilitação ou requalificação das redes de drenagem, envolve as etapas em seguida esquematizadas na Figura 6.1.



⁵ RII – *Rainfall Induced Infiltration*

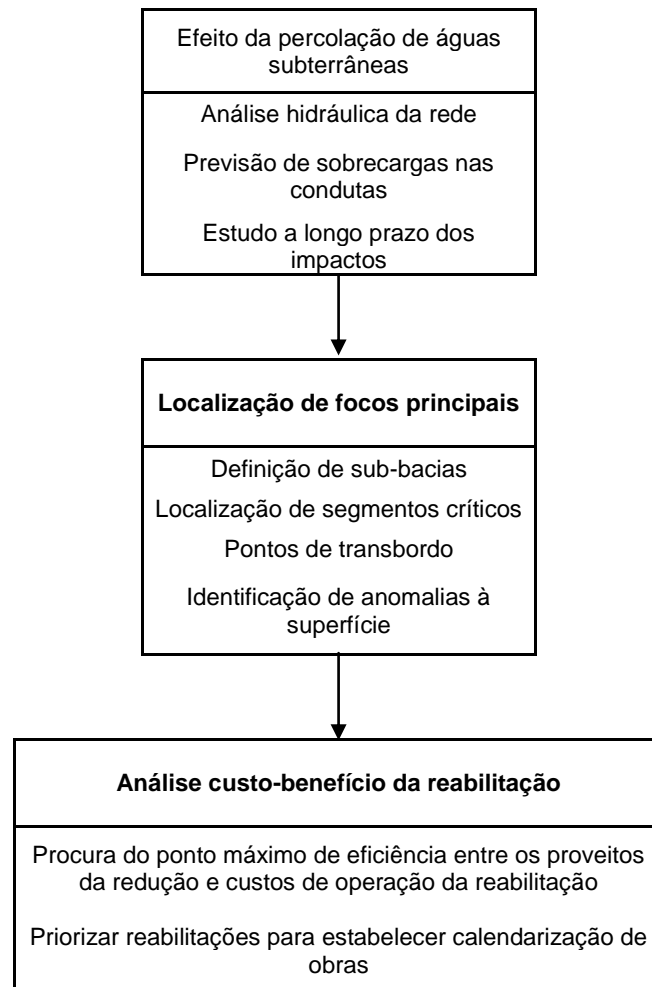


Figura 6.1 – Metodologia proposta para minimizar a influência de infiltrações no desempenho de um sistema de drenagem

Outro factor limitante da monitorização das redes de drenagem diz respeito ao conhecimento que os funcionários da entidade gestora possuem da rede. Naturalmente, a fracção mais recente será conhecida e estará mapeada, mas tal pode não suceder com secções mais antigas, fruto da ausência de registos, o que pode comprometer a correcta monitorização de toda a rede de drenagem. Devido a esse facto, deve ser recolhida informação sobre vários aspectos, entre os quais:

- Topografia e geomorfologia;
- Águas subterrâneas;
- Idade, material e diâmetro dos colectores;
- Áreas sujeitas a inundações.

A mapeação da rede nestes pressupostos pode, ainda, informar sobre os problemas de infiltrações na área, tais como:

- Ligações erróneas com as águas pluviais;
- Redes implantadas perto de cursos de água naturais, vales, zonas pantanosas e áreas de inundação;

- Esgotos construídos em solos inadequados ou inapropriados, resultando em juntas abertas ou tubagens fissuradas;
- Rede envelhecida ou construída com materiais e processos desaconselháveis que potenciam a capacidade de infiltração.

De seguida, detalham-se as etapas mais importantes para a concretização e quantificação da influência da ocorrência de afluências indevidas no rendimento de um sistema de drenagem de águas residuais.

6.2 Análise de cartas topográficas

O início da elaboração de um plano interventivo começa pelo estudo e análise da bacia hidrográfica artificial que drena para a ETAR de Sesimbra. Apesar do subsistema em estudo se tratar de um importante foco no saneamento da região, nomeadamente no período em que existe aumento da população flutuante, é inviável procurar, ao longo da área de influência da bacia hidrográfica, fugas, alagamentos ou ramais domiciliários erróneos. O mesmo objectivo pode ser alcançado recorrendo à delimitação da rede em troços ou regiões que ofereçam uma maior probabilidade de comportar infiltrações, ou através do recurso a uma análise de factores distintivos como localização, vulnerabilidade de elementos estruturais, entre outros.

Segundo Cardoso *et al.* (2002), sugere-se, numa fase inicial, a elaboração de um estudo pormenorizado que contemple a afectação da rede de saneamento com o intuito de identificar as zonas mais problemáticas a diversos níveis.

Recorrendo à Carta Militar de Portugal Série M888 – Folha 464 da região de Sesimbra, à escala 1:25 000 assim como ao mapa da rede de drenagem que afluí à ETAR de Sesimbra, é possível aferir informação importante que permite identificar pontos baixos, locais com maior proximidade a níveis freáticos, locais com maior vegetação, locais planos ou próximos a estradas com maior tráfego (Coelho, 2013).

Deve ser referido que a utilização de cartas topográficas ou militares está em desuso, já que a sua morosa actualização pode colocar em causa a actualidade da informação. As entidades gestoras tendem a recorrer, com maior frequência, aos sistemas de informação geográfica (SIG), cuja actualização é mais simples.

6.2.1 Identificação de pontos baixos

Os pontos de cota topográfica mais baixa são designados, de modo comum, como “pontos baixos” numa bacia hidrográfica ou rede de drenagem. Na análise de cartas topográficas ou militares e/ou no recurso a cartografia em sistemas de informação geográfica (SIG) com curvas de nível, estes pontos são facilmente identificáveis pela convergência do escoamento da rede, no caso dos sentidos de drenagem se encontrarem devidamente definidos.

No caso concreto de Sesimbra, a ETAR situa-se num dos pontos de cota mais baixa da rede, sendo o efluente drenado do lado poente dessa sub-bacia encaminhado para as estações elevatórias da Fortaleza e do Mar, que enviam, por bombagem, cerca de 40% e 15% a 20%, respectivamente, do volume total afluente à rede de drenagem para a estação de tratamento.

A existência de “pontos baixos” na rede de drenagem implica o necessário cumprimento dos critérios de velocidade mínima, promovendo a autolimpeza dos colectores.

Frequentemente, os locais designados por “pontos baixos” são associados a zonas estruturalmente vulneráveis, quer por questões estruturais, quer por questões sanitárias. A sua regulação e prevenção passa por uma maior componente de monitorização, incluindo manutenção periódica e com vistoria associada.

No caso de estudo em análise, a avaliação dos pontos baixos recorreu ao estudo do sentido de escoamento na rede de drenagem, de acordo com as plantas disponibilizadas pela entidade gestora, sem, no entanto, considerar os colectores em pressão gravítica.

De acordo com a informação disponibilizada, os pontos mais baixos da rede ocorrem junto ao mar, sendo que a bacia hidrográfica em questão apresenta, globalmente, um declive acentuado. Na Figura 6.2 apresenta-se a disposição simplificada da rede de drenagem no território.



Figura 6.2 – Representação da disposição da rede de drenagem no território (dados disponibilizados por SIMARSUL)

6.2.2 Identificação de locais com proximidade a níveis freáticos

Ao longo de um curso de drenagem é comum serem observadas linhas de água subterrâneas, com particular ênfase durante os períodos de maior precipitação, função do coeficiente de saturação do solo.

No caso de existência de eventos pluviométricos de grande intensidade e/ou duração, a porção de água não retida no solo tende a escoar por linhas preferenciais, conduzindo à subida dos níveis freáticos.

Fissuras ou roturas na rede podem conduzir à entrada de água dessas linhas de água subterrâneas na rede de drenagem, aumentando o caudal a transportar. A qualidade da água infiltrada é, na maioria das vezes, bastante superior à da água residual transportada pela rede de drenagem. A diluição do efluente pode causar transtorno no seu tratamento aquando da chegada à estação de tratamento podendo, inclusive, comprometer qualquer etapa e, consequentemente, ter que ser forçada a descarga no meio receptor, através de descarregadores de tempestade situados a montante da ETAR.

A análise destes locais deve ser encarada como prioritária, uma vez que se constitui, geralmente, uma das fontes mais comuns de afluência de infiltrações às redes de drenagem.

Os dados disponibilizados revelam-se inconclusivos relativamente à influência de níveis freáticos na afluência à rede de drenagem em análise. No entanto, os pontos baixos da rede situam-se junto à linha de costa, pelo que a interferência de águas subterrâneas no escoamento de águas residuais só poderá ter alguma influência na zona de montante da rede de drenagem, mas mesmo nesses locais tal influência deverá ser reduzida, face aos declives que essas zonas de montante apresentam, no que ao caso de estudo em análise diz respeito.

6.2.3 Identificação de locais com maior vegetação

A cobertura vegetal é outro factor que pode influenciar o acréscimo de caudais excedentes, embora com menor preponderância relativa quando comparada com os parâmetros anteriormente descritos.

Segundo Lencastre & Franco (2010), a consideração do revestimento vegetal de uma bacia hidrográfica e do seu tipo de utilização possuem relevância na análise dos fenómenos hidrológicos que ocorrem na bacia, principalmente pela sua influência na infiltração e no escoamento superficial.

A existência de vegetação pode eliminar o choque directo das gotas da chuva com a superfície do solo, modificando as suas próprias características, favorecendo a infiltração e reduzindo a velocidade do escoamento superficial. Este factor reduz a possibilidade de fenómenos de erosão e de ocorrência de cheias, aumentando, contudo, a contribuição para as reservas hídricas subterrâneas (Lencastre & Franco, 2010).

Contudo, o desenvolvimento de raízes pode significar um problema pela maior probabilidade de ocorrência de intrusões na rede de colectores, nomeadamente se se tratar de vegetação arbórea. Por

outro lado, a absorção da água existente no solo poderá ser impeditiva da saturação, contrariando, a prazo, a infiltração dessa água na rede de drenagem.

Destaca-se a importância da necessidade de desenvolvimento de estudos detalhados, de modo a aferir a flora e vegetação predominante na região e os seus potenciais efeitos sobre o processo de infiltração na rede de drenagem.

6.2.4 Identificação de locais planos

Apesar do sub-sistema de Sesimbra se localizar numa zona com acentuado declive, a existência de pontos ou troços planos numa rede de drenagem potencial a ocorrência de infiltrações na rede de drenagem.

Tenha-se em atenção um solo com amplitude considerável e ausência de declive, durante um evento pluviométrico (Figura 6.3). A perpendicularidade entre o solo e a direcção assumida pela precipitação conduz a que a direcção do escoamento seja vertical, aumentando o volume de infiltração no solo.

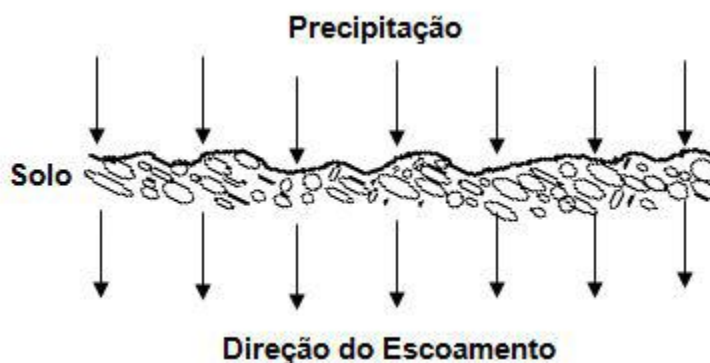


Figura 6.3 – Direcção do escoamento num local plano

A precipitação, ao incidir sobre o terreno, tende a tender a percolar com maior ou menor velocidade, função das características desse solo e do seu teor de água. Nalgumas situações, nomeadamente na presença de solos com elevada permeabilidade e após a ocorrência de eventos de precipitação, a entrada de água de infiltração na rede de colectores, através de fissuras ou outras anomalias estruturais no material constituinte do colector, pode ser potenciada, aumentando os caudais infiltrados (Lencastre & Franco, 2010).

No caso da sub-bacia em estudo, o declive do terreno desempenha um papel importante. Atente-se na Figura 6.4.

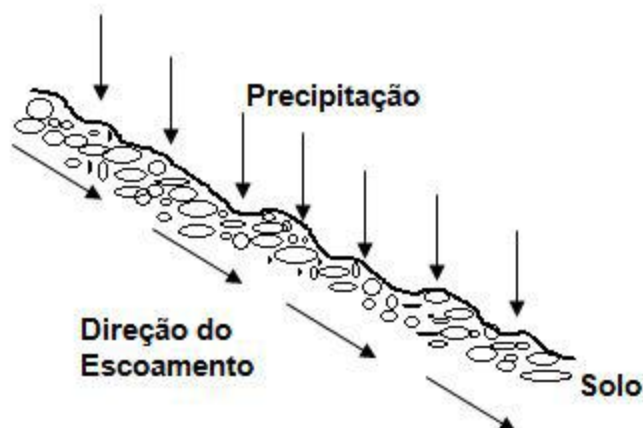


Figura 6.4 – Direcção do escoamento num local com declive

Neste cenário, o escoamento sub-superficial tende a seguir a orientação do talude, desfavorecendo a deposição de água na camada superficial de solo. Desta forma, a infiltração no solo é globalmente menor, tendendo a depositar-se no ponto baixo seguinte, que corresponde ao cruzamento de dois taludes com declives contrários ou, no caso de Sesimbra, numa zona de cota 0 metros, que corresponde à linha de costa.

6.3 Análise do estado actual da rede de drenagem

Como foi anteriormente referido neste trabalho, o estado de conservação de uma rede de drenagem é uma das condições fundamentais para o correcto desempenho da infraestrutura sanitária. Usualmente, as redes mais antigas, ou com colectores que apresentem anomalias construtivas e/ou estruturais, tendem a sofrer, com maior frequência, fenómenos de infiltração ou exfiltração.

A inexistência de alertas urgentes não implica um abrandar de esforços no sentido de obter um desempenho correcto da rede de drenagem. Na verdade, de modo a evitar problemas futuros, o problema da existência de fissuras ou pequenas roturas não deve ser descurado, devendo ser agendadas monitorizações e vistorias locais.

Contudo, a área analisada remete-se à sub-bacia hidrográfica artificial que influencia o escoamento da rede de drenagem para a ETAR, pelo que, para uma análise mais detalhada, teriam que ser monitorizados vários pontos do concelho, recorrendo à metodologia anteriormente apresentada.

6.4 Identificação de estradas com maior tráfego

As estradas com elevado tráfego automóvel devem ser consideradas como um factor passível de influenciar a infiltração de afluentes indevidas aos sistemas de drenagem.

Caso ocorra tráfego de pesados, o desgaste do pavimento é maior, devido às maiores forças exteriores às quais este está sujeito, e que nem sempre consegue absorver, podendo transferir alguma energia para a rede de colectores, causando deformações ou ruturas.

A área abrangente a todo o local que drena para a ETAR de Sesimbra é envolta pela estrada nacional N378. Esta estrada é a escolha primordial para a circulação de automóveis pesados, pelo que se pode verificar o desgaste nas zonas envolventes à sub-bacia considerada.

Por outro lado, grande parte da sub-bacia que influencia a ETAR de Sesimbra é tipicamente urbana, com ruas pavimentadas nas quais existe convivência entre automóveis e colectores.

Nestes casos, o desgaste das condutas é indubitavelmente superior, pelo que o surgimento de anomalias é mais provável neste contexto.

6.5 Identificação de elementos vulneráveis da rede

Após análise dos dados disponibilizados, numa perspectiva que permita identificar as potenciais áreas de intervenção, procede-se de seguida a uma análise mais abrangente.

Posteriormente à identificação de locais potencialmente críticos para a intrusão de águas parasitas, sob o ponto de vista geográfico e topográfico, é necessário os identificar os locais da rede de drenagem cuja estanquidade esteja comprometida, com potencial para determinar a ocorrência de de infiltrações, com base em estudos realizados noutros locais.

Assim, destaca-se a avaliação dos seguintes elementos:

- Caixas de visita;
- Juntas de ligação de colectores;
- Ramais domiciliários;
- Descarregadores de tempestade.

A experiência demonstra que estes elementos, pela sua natureza, função e localização na rede, se inserem no grupo dos mais propícios para potenciar a afluência de caudais de infiltração à rede de drenagem.

6.5.1 Caixas de visita

As caixas de visita são os elementos da rede de drenagem mais desestabilizadores em termos de infiltração, função do seu processo construtivo, que contempla a existência de juntas entre os elementos de betão pré-fabricado. É ainda importante considerar que a fragilidade destes elementos se deve, de igual modo, à união entre materiais diferentes, nomeadamente na junção entre o tubo e a caixa de visita, criando zonas vulneráveis e sensíveis a infiltrações.

As caixas de visita possuem várias geometrias. Habitualmente, as caixas de visita de formatos assimétricos encarecem a solução, devido à necessidade de armadura de torção, o que não acontece nas caixas de visita duplamente simétricas, utilizadas no sistema de Sesimbra (ver Figura 6.5). As caixas assimétricas tornam, no entanto, a sua manutenção mais facilitada, devido à parede inclinada, que confere maior segurança à visita do operador.

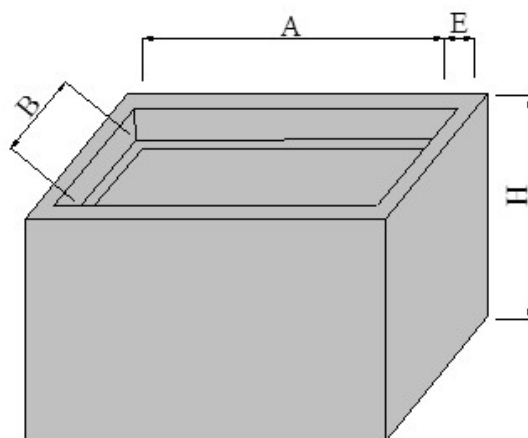


Figura 6.5 – Esquema de geometria de uma caixa de visita rectangular (adaptado de SECIL Pré Betão)

A presença de armaduras nas caixas de visita aumenta a sua resistência mecânica, tornando este tipo de caixa de visita o mais usual, principalmente quando se trata de ruas movimentadas, como é o caso das caixas de visita existentes em Sesimbra.

Aquando da ocorrência de cheias, o transbordar de água através das caixas de visita não se deve, normalmente, ao formato geométrico das mesmas, mas é resultante da tampa utilizada. Usualmente, é colocada uma película aderente em torno da tampa, aumentando o seu contacto com a restante estrutura e permitindo uma maior solidarização e, conseqüentemente, maior estanquidade. Apesar disso, é recomendada a realização de vistorias periódicas, de forma a monitorizar o eventual desgaste.

A utilização de películas aderentes de forma a dar estanquidade a caixa de visita, apesar de usual, não é a forma mais correcta de abordar o problema. Se não estiver garantida 100% da estanquidade, é recomendada a colocação de bóias de emergência no caso da altura de água ultrapassar um determinado nível pré-definido, de modo a evitar a transladação para o exterior da água infiltrada.

6.5.2 Juntas de ligação

As juntas de ligação constituem outro ponto no qual a ocorrência de afluências indevidas pode ser mais crítica. A sua correspondente minimização passa, sobretudo, sobretudo pela fase de projecto. Em fase de exploração, a entidade gestora deve ser responsável por monitorizar e garantir que as juntas entre materiais distintos se encontram devidamente solidarizadas, de modo a evitar a entrada de caudais de infiltração.

O local de solidarização dos materiais são zonas particularmente sensíveis e vulneráveis da rede de drenagem, devendo existir método na sua execução, baseado em experiências previamente realizadas, nomeadamente no que toca à junção de materiais não homogêneos.

Dependendo dos materiais utilizados ao longo do percurso da rede, alguns possuem características mais ou menos soldáveis e que reagem de forma melhor ou pior, também de acordo com a experiência e competência da mão-de-obra utilizada.

Assim, a prevenção passa pela identificação de ligações mais frágeis e exame local das mesmas, para posterior reparação, se necessário.

Neste ponto, destacam-se as juntas de ligação que fazem a conexão entre condutas de materiais distintos, nomeadamente FFD e PEAD.

6.5.3 Descarregadores

Estes órgãos são habitualmente utilizados em sistemas unitários ou pseudo-separativos, podendo ser classificados consoante a sua finalidade em:

- Descarregadores de tempestade, cujo objectivo consiste no desvio de volumes pluviais excedentes afluentes à estações de tratamento de águas residuais;
- Descarregadores de transferência, se forem edificados com o intuito de distribuir o caudal afluente para colectores menos sobrecarregados;
- Descarregadores de segurança, implementados a montante das estações de tratamento de estações elevatórias ou de outros órgãos importantes dos sistemas de drenagem e tratamento de água residual.

A operação destes órgãos, embora seja de funcionamento intermitente, obriga a uma monitorização contínua ao longo da sua vida útil.

O seu estudo para a problemática das infiltrações não surge como um elemento a monitorizar. Por outro lado, constituem objecto de análise, de forma a permitir encontrar o melhor método de os integrar na infraestrutura sanitária.

6.5.4 Ramais domiciliários

Os ramais domiciliários são uma das fontes mais significativas para o incremento de infiltrações na rede de drenagem (Figura 6.6).

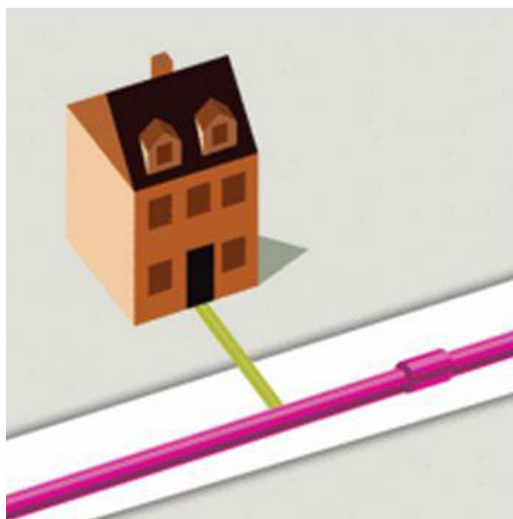


Figura 6.6 – Representação de um ramal domiciliário (adaptado de www.ccwater.org.uk)

A sua interferência no aumento de volumes excedentários nos sistemas de drenagem deve-se, sobretudo a (Hyder, 2005):

- Pouca profundidade a que se encontram os ramais estando, por isso, bastante susceptíveis às actividades desenvolvidas à superfície, nomeadamente ao tráfego automóvel;
- Percurso dos ramais domiciliários, que se cruzam frequentemente com raízes e vegetação. Devido à gestão de locais privados estar a cargo dos proprietários, o controlo da vegetação nestes espaços é praticamente inexistente;
- Movimento artificial de terras, acima do ramal, pode causar problemas relacionados com assentamentos;
- Inexistência de inspecção local;
- Falta de cuidado, principalmente durante a fase de construção, onde a exigência no acautelamento de processos é inferior aquando da construção de ramais domiciliários, comparativamente às exigências da construção da restante rede de drenagem.

De forma a evitar complicações *a posteriori*, deve ser conduzida uma vistoria e respectiva monitorização dos ramais domiciliários durante a fase de construção, garantindo a resistência dos materiais inutilizados (Hyder, 2005).

O método proposto para vistoria dos ramais domiciliários corresponde à detecção de anomalias através da injeção de fumo. Na generalidade, os resultados obtidos através da aplicação deste método são bastante satisfatórios. No entanto, as condições meteorológicas revelam-se um factor limitante ao processo, podendo anular por completo o resultado da vistoria.

6.6 Identificação de locais próximos de obras

A existência de obras à superfície pode causar danos na rede de colectores, principalmente no caso de se tratar de obras com necessidade de grandes volumes de escavação.

Assim, deverá existir comunicação entre a câmara municipal local e a entidade gestora da infraestrutura sanitária, bem como uma correcta ponderação da ordem de trabalhos e locais afectados, de forma a garantir o não envolvimento do desempenho da obra com o da rede de drenagem.

Em contrapartida, o estabelecimento de uma norma regulamentar, obrigaria a entidade gestora da obra a acautelar a comunicação com a entidade responsável pelo saneamento, na eventualidade de ocorrências susceptíveis de condicionar a integridade da rede de drenagem.

No período no qual decorreu este trabalho, não se registou qualquer ocorrência digna de registo que influenciasse o desempenho da rede de drenagem, em função da realização de obras à superfície.

6.7 Modelação hidráulica

A utilização de tecnologias que permitam prever cenários futuros, como é caso da modelação hidráulica, é cada vez mais uma ferramenta utilizada pelas empresas de saneamento. Este tipo de instrumento permite simular os eventos passíveis de ocorrer numa rede de drenagem, com recurso a *software* específico, como a utilização do SWMM, ferramenta utilizada pela SIMARSUL para simular o comportamento da rede de drenagem que alimenta a ETAR de Sesimbra.

A utilização destas ferramentas permite ultrapassar limitações apresentadas por metodologias baseadas em pressupostos estritamente teóricos, oferecendo maior facilidade e flexibilidade no estabelecimento de cenários distintos e variadas soluções para a mesma situação.

No entanto, exige-se critério no que toca à modelação para simulação e a consideração de cenários que contemplem a afluência de volumes de infiltração à rede de drenagem (Hyder, 2005).

A montante da utilização de *software* de modelação hidráulica deve existir uma fonte fiável de dados, sendo este critério de elevada relevância para a validação de um modelo robusto, que se aproxime o mais possível dos casos reais que se pretendem simular. Esses dados devem incluir um cadastro suficientemente alargado de ocorrências na rede de saneamento, ao nível do comprimento de colectores, respectivos diâmetros e características de escoamento.

Neste capítulo, a existência de dados de precipitação, registados e validados pela entidade gestora, não deve ser subvalorizada.

6.8 Soluções específicas para a bacia de Sesimbra

Previamente à reabilitação da rede, aprofundar deve ser aprofundado o conhecimento das águas parasitas no local onde a rede se insere, nomeadamente na localização dos focos e das causas associadas. De referir, ainda, que a montante de qualquer intervenção a executar na rede de drenagem, deverá ser feito um estudo operacional, por se tratar de uma rede relativamente jovem e recentemente intervencionada (em 2013) pelos planos operacionais conduzidos pela autarquia local.

A entidade gestora tem os registos dos primeiros anos em formato papel e não digital, não se tendo utilizado todos os dados disponíveis no presente trabalho. Relativamente aos dados de precipitação, a SIMARSUL não possui nenhuma estação udométrica na área da vila de Sesimbra, tendo-se percebido no âmbito deste trabalho que a existência de dados fiáveis, é fundamental para a quantificação robusta das afluências indevidas.

O caso analisado não é isolado a nível nacional. De facto, são escassas as entidades gestoras em “baixa” que realizam uma monitorização eficiente da sua rede de drenagem de águas residuais, apesar da existência de várias técnicas que facilitariam o reconhecimento e quantificação de afluências indevidas. A medição do caudal escoado no interior dos colectores, em pontos estratégicos da rede, bem como a estimativa da influência da precipitação local no incremento do mesmo, constituem, numa primeira fase, o essencial das melhorias a implementar.

A primeira medida a ser concretizada diz respeito à delimitação eficiente de sub-bacias artificiais, equipadas com um caudalímetro, na perspectiva de conhecer a contribuição de cada sub-bacia para o total de águas parasitas na zona de Sesimbra. No caso concreto, esta delimitação é simplificada pela existência de medições na ETAR de Sesimbra e na estação elevatória da Fortaleza. Esta metodologia em tudo se assemelha às zonas de medição e controlo (ZMC), utilizadas no combate às perdas nos sistemas de abastecimento de água.

A segunda medida proposta, com o propósito de medir a precipitação local, é a instalação de um udógrafo que permita uma fiável medição e quantificação dos eventos pluviométricos ocorrentes na zona em que se insere o subsistema considerado. O conhecimento da precipitação permitiria, a par da utilização de caudalímetros, efectuar medições nocturnas e aferir a parte de infiltrações indirectas no total das águas parasitas.

A monitorização de águas subterrâneas é a terceira medida proposta. Recorrendo às boas condições de funcionamento das caixas de visita da rede, a instalação de piezómetros ou aparelhos semelhantes para a medição do nível freático, revelar-se-ia uma ajuda preciosa na percepção da componente GWI (*Ground Water Infiltration*), possibilitando assim a ligação com os valores de infiltração indirecta da segunda medida, atrás proposta

A quarta e última medida refere-se à aplicação de medidas de reabilitação na rede de drenagem. A sua implementação pode causar transtornos, devido ao aumento da probabilidade de ocorrência de infiltrações, fruto do deslocamento da fonte para pontos menos activos ou, inclusivamente, inactivos antes da rede antes da sua reabilitação. A migração de águas subterrâneas conduz a resultados decepcionantes em programas de minimização de afluências indevidas comuns. Estes programas têm demonstrado existir disparidade entre a redução prevista e real redução de infiltração obtidas. Este fenómeno pode ser assinalado através do aumento do nível do lençol freático no local analisado.

7 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1 Conclusões

Após contacto inicial com os dados disponíveis, observou-se que teria que ser desenvolvido todo um trabalho de base, com análises prévias a regiões e elementos mais vulneráveis da rede, com recurso a dados elementares e a experiências anteriores, que devem ser consolidados através de trabalhos de campo.

Após o confronto de consumos afluentes e dados de precipitação, que necessitam de ser mapeados, verifica-se em períodos húmidos a influência da precipitação, através da infiltração, traduzida no aumento da afluência ao sistema de drenagem. Esta afirmação é suportada pela parcela calculada de volume pluvial/infiltração presente no volume total afluente ao sistema de drenagem que, em média e para o período entre 2009 e 2014, foi de 18%. Este valor deve ser encarado com algumas reservas, em função de todos os pressupostos adoptados para a realização deste trabalho.

Em casos onde a precipitação diária seja mais intensa, a contribuição pluvial para o volume total afluente ao sistema de drenagem, tendo em conta que se estudou uma rede, em parte, com algumas características unitárias, pode trazer problemas ao funcionamento correcto da ETAR de Sesimbra, em função do incremento de caudal afluente a esta instalação, contudo há medidas que podem ser adoptadas, como é o caso do Subsistema, sendo os potenciais efeitos no meio receptor final daí decorrentes muito reduzido.

Posteriormente, surgiu a etapa relativa à identificação de potenciais focos de caudais de infiltração, com o intuito de prever cenários mais gravosos do que os actuais. Aqui, recomenda-se um trabalho de campo que permita mapear a composição geológica do terreno, analisando a porosidade do mesmo e a sua disponibilidade para reter volumes infiltrados no solo.

O presente trabalho apresentou, tendo em atenção os pressupostos assumidos, uma relação entre a ocorrência de precipitação e o incremento do caudal afluente ao sistema de drenagem, baseada na metodologia da ERSAR. Embora a aplicação da metodologia tenha evidenciado a necessidade de um maior número de dados relativos à pluviosidade que ocorre na bacia do subsistema de Sesimbra, a concretização do estudo traduziu-se, em valor médio, em 18% de volume pluvial/infiltrações presente no volume total afluente à rede de drenagem, valor inferior ao objectivo estabelecido no PEASAAR, o qual estabelecia como meta um valor inferior a 20%.

Acresce que as características do turismo na Vila de Sesimbra, com várias flutuações ao longo do ano, levam a que seja difícil de estimar um volume representativo de um determinado período.

Do ponto de vista económico, o custo associado ao tratamento de águas pluviais afluentes ao sistema de drenagem, é de difícil contabilização, uma vez que este volume de água é praticamente isento de carga poluente. No entanto, o incremento de caudal afluente à ETAR de Sesimbra por

intermédio de infiltrações pode vir a concretizar-se num acréscimo de custos, tendo em conta o crescente desgaste da rede de drenagem e os custos energéticos de elevação. De qualquer forma, e apesar das melhorias que possam vir a ser introduzidas, recorda-se que os volumes de infiltração obtidos são inferiores aos objectivos estabelecidos no PEASAAR, de acordo com o atrás referido, e que será virtualmente impossível um sistema em que os volumes de infiltração sejam inexistentes.

Importa igualmente referir que a Câmara Municipal de Sesimbra tem procurado, no âmbito da remodelação urbanística, separar as redes de águas residuais urbanas e de águas pluviais. As entidades gestoras desta bacia de saneamento têm implementando medidas que minimizam a entrada de águas pluviais na rede de drenagem “em alta”, nomeadamente na época de chuvas, tendo sempre como um dos objectivos a preservação da qualidade da água e das praias da vila de Sesimbra.

7.2 Programa de acção: Estabelecimento de prioridades de intervenção

Considera-se que a grande prioridade de intervenção diz respeito à fiabilidade de dados e aquisição de equipamentos para a sua obtenção.

Confrontando os dados disponibilizados, verifica-se que os cadastros existentes da rede de drenagem não são suficientes para proceder a uma análise mais concreta do volume de infiltrações que realmente ocorre no sistema. Os modelos de simulação devem igualmente ser explorados e desenvolvidos, para que se possa considerar vários cenários, apoiando assim a tomada de decisões.

A indisponibilidade para aferir os verdadeiros consumos anteriores ao ano de 2014, bem como a quantificação da diferença entre o volume facturado real e o volume doméstico e pluvial, imputado aos consumidores, admite que as tarifas aplicadas poderão não reflectir o verdadeiro preço do tratamento de água residual.

7.3 Recomendações

A mitigação de aflúências indevidas deve corresponder a uma das prioridades das entidades gestoras de sistemas de águas residuais, à semelhança do que tem vindo a ser efectuado nos sistemas de abastecimento de água.

De todos os objectivos a cumprir pela entidade gestora, fazem parte da lista preferencial os cenários que permitam reduzir o volume de infiltrações, de acordo com as melhores práticas disponíveis. Devem ser considerados os meios que permitam definir e quantificar os caudais de infiltração afluentes ao sistema de drenagem. Devem ser igualmente encaradas metodologias para reduzir os custos inerentes ao ciclo de vida da rede de drenagem, através do recurso a estudos, análises e técnicas que permitam quantificar e comparar os custos antes e depois das intervenções, caso estas sejam concretizadas.

A metodologia apresentada no Capítulo 6 pode funcionar como base para o início de um estudo mais detalhado sobre a problemática das infiltrações mas, não sendo exclusiva, cabe à entidade gestora

analisar o equipamento e recursos humanos e financeiros disponíveis para acordar um planeamento de intervenção futura, sem descurar a qualidade do serviço oferecido aos clientes, e tendo em atenção os termos do correspondente contracto de concessão.

Com base no trabalho realizado recomenda-se, também, que seja executada monitorização exaustiva e devidamente planeada, de toda a rede de drenagem, bem como dos instrumentos de medição. A implementação de um udógrafo na estação de tratamento de águas residuais, permitindo a criação de um cadastro contínuo, é igualmente importante para o desenvolvimento de estudos futuros.

Estas recomendações não são únicas, no entanto, de acordo com o panorama económico actual, revelam-se como as mais urgentes e de menor dificuldade de concretização.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, Shakir., NC Ghosh; Ranvir Singh (2010).** *Rainfall-runoff simulation using a normalized antecedent precipitation index.* Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques no. 55 (2): 266-274.
- Almeida, S.; Monteiro, P. (2004).** *Incidence of rainwater flows in wastewater drainage networks – two case studies in municipalities in northern Portugal.*
- Amorim, H. (2007).** *Afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais.* Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: http://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_2as/20_HAmorim.pdf.
- Bertrand-Krajewski, J.; Cardoso, M.A.; Ellis, B.; Frehmann, T.; Giulianelli, M.; Gujer, W; Krebs, P.; Pliska, Z.; Pollert, K.; Pryl, K. (2005).** *Towards a better knowledge and management of infiltration and exfiltration in sewer systems: The APUSS project.* Comunicação apresentada em 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark. Disponível em: <http://apuss.insa-lyon.fr/general%20apuss%20paper%20for%2010%20icud%20-%20final%20revised%20for%20WPT.pdf>. Consultado em Abril de 2015.
- Bertolino, M. (2013).** *Avaliação das contribuições de água de chuva provenientes de ligações domiciliares em sistema de esgotamento sanitário separador absoluto.* Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/handle/1884/32584>. Consultado em Abril de 2015.
- Brandão, P. (2011).** *Interceptor Douro – O Sistema Centenário de Saneamento da Cidade do Porto.* Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2011.
- Bonito, A. (2014).** *Infiltrações na Rede de Drenagem de Águas Residuais – Caso de Estudo da Bacia de Drenagem de Lanheses.* Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: https://sigarra.up.pt/feup/en/publs_pesquisa.FormView?p_id=99598. Consultado em Abril e Maio de 2015.
- Burian, S.; Edwards, F. (2002).** *Historical perspective of urban drainage.* Comunicação apresentada em 9th International Conference on Urban Drainage.
- Cardoso, A.; Almeida, M.; Coelho, S. (2002).** *Avaliação do impacto da infiltração no desempenho de sistemas de drenagem urbana.* Comunicação apresentada em Proceedings of the 9th National Congress on Water, Wastewater and Solid Waste. Disponível em: http://apuss.insa-lyon.fr/nrl_010_evaluation_of_the_infiltration_impact_on_the_performace_of_urban_sewer_systems.pdf. Consultado em Junho de 2015.

- Cardoso, A.; Prigiobbe, V.; Giulianelli, M.; Baer, E.; De Bénédittis, J.; Coelho, S. (2006).** *Assessing the impact of infiltration and exfiltration in sewer systems using performance indicators: case studies of the APUSS project.* Water Practice & Technology, no. 1 (01).
- De Bénédittis, J; Bertrand-Krajeski, J. (2004).** *Infiltration in sewer systems: comparison of measurement methods.* Sewer Processes and Networks IV no. 52 (3): 219-227.
- Câmara Municipal de Sesimbra (2007).** *Plano Director Municipal de Sesimbra in Avaliação dos POOC da Área de Jurisdição da ARH do Tejo, IP, e Definição de Objectivos e Conteúdos para a sua Revisão.* BIODSIGN, Lda.
- Coelho, I. (2013).** *Variabilidade de Afluências às Redes de Drenagem de Águas Residuais – Causas e Efeitos Versus Sustentabilidade Económica. Um caso de estudo.* Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: http://sigarra.up.pt/feup/pt/publs_pesquisa.show_publ_file?pct_gdoc_id=321932. Consultado em Abril e Maio de 2015.
- Cruces, A.; Lopes, I., Freitas, M.C.; Andrade, C. (2006).** *A Geologia no Litoral – Parte II: Da Praia das Bicas a Setúbal.* Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Decreto Regulamentar nº 23/95 (1995).** – *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água,* Lisboa: Diário da República.
- Ellis, B.; Bertrand-Krajewski, J. (2010).** *Assessing infiltration and exfiltration on the performance of urban sewer systems (APUSS).* International Water Assn.
- EPA (Environmental Protection Agency). (1990).** *Rainfall Induced Infiltration Into Sewer Systems: Report to Congress.* Consultado em Maio de 2015.
- EPA (Environmental Protection Agency). (1991).** *Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation.* Consultado em Maio de 2015.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2005).** *Guide for evaluating capacity, management, operation and maintenance (CMOM) programs at sanitary sewer collection systems.* Consultado em Maio de 2015.
- ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos) (2013).** *Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal 2012.* Consultado em Abril e Maio de 2015.
- ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos) (2014).** *Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal 2013.* Consultado em Abril e Maio de 2015.
- Galvão, A. (2009).** *Comportamento Hidráulico e Ambiental de Zonas Húmidas Para o Tratamento de Águas Residuais.* Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Técnica de

Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009. Disponível em:
https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573708159/TeseComCapa_web.pdf.

Gustafsson, L. (2000). *Alternative drainage schemes for reduction of inflow/infiltration – prediction and follow-up of effects with the aid of an integrated sewer/aquifer model*. 1st International Conference on Urban Drainage via Internet.

Hyder, (2005). *Greater Dublin Strategic Drainage Study: Regional Drainage Policies – Volume 4 – Inflow, Infiltration and Exfiltration*. Dublin, Irlanda. Disponível em <http://www.dublincity.ie/main-menu-services-water-waste-and-environment-drainage-services/inflow-infiltration-and>. Consultado em Junho e Julho de 2015.

Hipólito, J.R.; Vaz, Á.C.; (2011). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Lisboa: IST Press. ISBN 978-972-8469-86-3.

IRAR (Instituto Regulador de Águas e Resíduos) (2007). Recomendação nº 04/2007: Facturação de serviços em “alta” de saneamento de águas residuais urbanas em sistemas com contribuição de águas pluviais. Consultado em Abril de 2015.

Karpf, C.; Hoefft, S. (2005). *Inflow and infiltration (I/I) in a separate sewer system – measurements and analysis*.

Karpf, C.; Krebs, P. (2011). *Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach*. Water research, vol. 45. Nº 10. p. 3129-3136,

Kretschmer, F.; Ertl, T.; Koch, E. (2008). *Discharge Monitoring and Determination of Infiltration Water in Sewer Systems*. Disponível em:
http://web.sbe.hw.ac.uk/staffprofiles/bdgsa/11th_International_Conference_on_Urban_Drainage_CD/ICUD08/pdfs/155.pdf. Consultado em Julho de 2015.

Lencastre, A.; Franco, F. M. (2010). *Lições de Hidrologia*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Lee, D.; Choi, J., Chung, J.; Lee, Y.; Kim, Y. (2009). *Effect of Infiltration and Inflow in Dry Weather on Reducing the Pollution Loading of Combined Sewer Overflows*. Environmental Engineering Science, 10. Disponível em: <http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ees.2008.0038>. Consultado em Junho de 2015.

Marques, M. (2010). *Metodologias para aplicação do princípio do ciclo de vida a sistemas de drenagem de águas residuais*. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/58806>. Consultado em Abril de 2015.

- Matos, J.S. (2003).** *Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano*. Revista Engenharia Civil, nº 16, Universidade do Minho.
- Merril, S., Butler, R. (1994).** *New dimensions in infiltration/inflow analysis*. Comunicação apresentada em WEF. A global perspective for reducing CSOs: Balancing Technologies, costs and water quality. Water Environment Federation Specialty Conference Series Proceedings, July.
- Metcalf, L.; Eddy, H.; Tchobanoglous, G. (2004).** *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. New York: McGraw-Hill.
- Moura, P. (2004).** *Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: Brazil.
- Pato, J. (2011).** *História das políticas públicas de abastecimento e saneamento de águas em Portugal*, Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). Disponível em:
<http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?BookID=2628&SubFolderPath=%5CRoot%5CContents%5CSitio%5CMenuPrincipal%5CDocumentacao%5COutrosdocumentosIRAR&GenericContentId=0&Section=MenuPrincipal&FolderPath=%5CRoot%5CContents%5CSitio%5CMenuPrincipal%5CDocumentacao>. Consultado em Junho e Julho de 2015.
- Pereira, A. R. (2003).** *Geografia Física e Ambiente – Diversidade do Meio Físico e Recursos Naturais* in Tenedório (Ed e Coord). *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*, A.M.L., Lisboa, p. 47-65 (ISBN 972-98655-7-4).
- Pereira, M. (2012).** *Implementação e Monitorização de uma Zona de Medição e Controlo no Sistema de Abastecimento de Matosinhos*. Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/69311/1/000155054.pdf>. Consultado em Junho de 2015.
- Rahman, N.; Alias, N. (2007).** *Evaluation of design criteria for inflow & infiltration of medium scale sewerage catchment system*. Universiti Teknologi Malaysia, 2007. Disponível em:
<http://www.efka.utm.my/thesis/IMAGES/3PSM/2007/JHH/PARTS1/dayalanaa020082d07ttt.pdf>
- Rodrigues, V. (2013).** *Avaliação de Infiltração em Drenagem Urbana Recorrendo a Métodos Convencionais e não Convencionais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2013. Disponível em:
https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395146000777/dissertacao_VeraRodrigues.pdf. Consultado em Abril e Maio de 2015.
- Stauffer, P.; Scheidegger, A; Rieckermann, J. (2012).** *Assessing the performance of sewer rehabilitation on the reduction of infiltration and inflow*. Water Research. Vol. 46. Nº 16. p.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135412004836>.

- Tuomari, D.; Thompson, S. (2004).** “*Sherlocks of stormwater*” *effective investigation techniques for illicit connection and discharge detection*. Proceedings of the Water Environment Federation, Vol. 2004, nº 16. p. 1252-1259.
- Santos, R. (2011).** *Comportamento Geotécnico de Solos Argilosos do Vale Diapírico de Sesimbra*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Tenedório, J.A.; Encarnação, S.; Rocha, J.; Estanqueiro, R.. (2007).** *Redes neuronais orientadas para objectos vectoriais na cartografia de uso e ocupação do solo* in Cartografia e Geodesia, ed. CASACA, J.; MATOS, J, 235 - 244. Lisboa: LIDEL.
- Vaes, G.; Willems, P.; Berlamont, J. (2005).** *Filtering methd for infiltration flow quantification*. Comunicação apresentada em Proceedings 10th International Conference on Urban Drainage.
- Yoo, C. (2012).** *Quantification of Flood Runoff Reduction Effect of Storage Facilities by the Decrease in CN*. Journal of hydrologic engineering. Vol. 18. nº 6. p. 729. Disponível em: <http://sfx.fe.up.pt/feup?sid=google&auinit=C&aulast=Yoo&atitle=Quantification%20of%20Flood%20Runoff%20Reduction%20Effect%20of%20Storage%20Facilities%20by%20the%20Decrease%20in%20CN&id=doi%3A10.1061%2F%28ASCE%29HE.1943-5584.0000661&title=Journal%20of%20hydrologic%20engineering&volume=18&issue=6&date=2012&spage=729&issn=1084-0699%3E>. Consultado em Junho de 2015.
- Zhang, Z. (2005).** *Flow data, inflow/infiltration ratio, and autoregressive error models*. Journal of Environmental Engineering. Vol 131. nº 3. p. 343-349. Disponível em: [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2005\)131:3\(343\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:3(343)). Consultado em Maio e Junho de 2015.